

Anto Raukas

EESTIMAA

viimastel
aastamiljonitel



Anto Raukas

Eestimaa viimastel aastamiljonitel

Tallinn «Valgus» 1988

Kaane kujundanud Ants Säde
Retsenseerinud geoloogia-mineraloogia kandidaadid Reet Karukäpp
ja Herbert Viiding

Raukas, A.

R 22 Eestimaa viimastel aastamiljonitel. — Tln.: Valgus, 1988. — 280 lk., ill.

ISBN 5—440—00155—7

Rikkalikult illustreeritud populaarteaduslikus raamatus antakse ülevaade Eesti maa-ala pinnamoe ja pinnakatte kujunemisest ning taimestiku ja loomastiku arengust jääajal ja jääajajärgsel ajal. Tutvustatakse mandrijää taandumist ja Läänemere arengulugu, Eesti jõgedevõrgu kujunemist, maakoore tektoonilisi liikumisi ning pärastjääaegset inim-asustust. Näidatakse, kuidas maakoore pindmiste osade ehitus mõjustab inimese elu- ja tootmistegevust.

Raamat on mõeldud laiale lugejaskonnale, kuid pakub kahtlemata huvi ka geoloogia ja geograafia eriala üliõpilastele ning vastava eriala spetsialistidele.

R $\frac{190400000-269}{902(15)-88}$ 24—88

26.89(2E)

1. Iga geoloog suudab otsustada, kui on küllaldaselt fakte.
2. Hea geoloog suudab otsustada ka ilma küllaldaste faktideta.
3. Täiuslik geoloog suudab maalida usaldusväärse minevikupildi ka väga väheste faktide abil.

Murfoloogiline seadus, mille õigsust on kinnitanud geoloogiliste uuringute mitmesaja aasta pikkune ajalugu.

Saateks

Maad on võrreldud liivaterakesega kosmoses, kuid sellelgi terakesel on seljataga pikk ja keerukas arengulugu, mille kõiki üksikasju inimestel vaevalt kunagi õnnestub taastada. Enamasti tuleb meil rahulduda kõige üldisemate tendentside esiletoomisega ja sedagi harilikult hüpoteeside tasemel. Selle põhjuseks on uurimiseks sobivate geoloogiliste ürikute lünklikkus ning nende interpreteerimise keerukus. Suure ruumilise ulatuvuse tõttu on geoloogias väga raske korraldada eksperimente, ja kui neis ka maksimumaalselt püüda imiteerida looduslikke tingimusi, jääb ikkagi kõrvale aja tegur, mille kestust geoloogias mõõdetakse miljonite ja miljardite aastatega.

Inimesed hindavad ajaloosündmusi alati oma kaasaja vaatevinklist. Geoloogias on selleks nn. aktualismi printsiip, mille kohaselt minevikusündmuste tõlgendamise aluseks on nüüdisajal toimivad geoloogilised protsessid. Kuid aktualismi printsiip kehtib vaid osaliselt, sest aja jooksul on maakoort üha paksenenud ja atmosfäärigi koostis muutunud. Hüdrosfäär ja elu Maal on aga suhteliselt noored nähtused. Ka on inimene asunud maakoort oluliselt ümber kujundama. Nüüdisajaks ongi inimene muutunud üheks kõige arvestatavamaks geoloogiliseks teguriks. Tema mõju loodusele on võrreldav vee ja tuule ning isegi maasiseste jõududega. Üksnes maavarade otsimiseks tehakse igal aastal üle 10 miljoni m³ mäetöid, kuid see on ainult kübeke inimese tegudest. Ameerika füüsiku F Dysoni arvates suureneb energia tarbimine Maal järgneva 2000—2500 aasta jooksul umbes 10 miljardit korda. See tähendab, et üsna peatses tulevikus on inimene suuteline muutma Maa kliimat ja kõigi geoloogiliste protsesside kulgu.

Oeldu on tinginud inimajastu ehk antropogeeni esiletõstmise Maa ajaloos. Tõsi, praegu eelistatakse veel ajalooliselt kujunenud terminit kvaternaar, kuid selle iga paistab olevat üürike ja juba kasutataksegi paralleelselt mõlemat terminit. Mõned uurijad lähevad veelgi kaugemale, pidades inimtegurit niivõrd tähtsaks, et nõuavad talle suurimat geoloogilist ajajaotust — aegkonda, nimetusega inimaegkond ehk antroposoikum.

Käesolevas raamatus tulebki juttu Maa noorimast ajastust ja selle käigus Eesti maa-alal toimunud sündmustest. Vajadus vastava teabe järgi on ilmne. Peaks ju olema huvitav teada, kuidas meie koduvabariik vabanes mandrijää külmast haardest ja Läänemere voogude alt, kuidas on siin arenenud jõgede võrk ja taimkate, millised on maakoort kujundavad tektoonilised jõud.

Populaarset ülevaateraamatut pole lihtne kirjutada. Esimest korda asusin seda tegema kaksikümmend aastat tagasi, kuid loobusin enam-vähem valmis käsikirja trükki andmast. Püüdsin seda lugeda ja hinnata tavalise keskmise lugeja seisukohalt ja mulle tundus kirjutatu liiga igavana. Ei ole ju sellises geoloogilises ülevaates ajalooraamatutele omaseid kõitvaid lahingupilte ja elusloodust kirjeldavate tööde emotsionaalsust. Geoloogias toimub kõik mõõtmatult aeglasemalt, maakoort ja elustikku mõjutavad katastroofidki kestavad enamasti aastatuhandeid või koguni milijoneid. Unustussevajunud käsikirja, mida seni aeg-ajalt kasutasid vaid kandidaadieksamiks valmistuvad aspirandid, sundis mind taas lauale võtma kolleegide nõuanne. Nagu teaduses ikka, koguneb tarkus terahaaval. Uus põlvkond toetub eelkäijate asemele astudes nende kogemustele ja teadmistele. Väga kiiresti ületatakse eelmise põlvkonna oskused reaalaraladel, tunduvalt suurema ajalise diapasoonega aga loodusteadustes, kus materjali hankimine eeldab pikaajalist looduses viibimist, sealhulgas sageli kaugetel ja rasketel ekspeditsioonidel. Mul on olnud võimalik reisida paljudes maades, käia ekspeditsioonidel Nõukogude Liidu erinevates looduspiirkondades. See peaks võimaldama näha meie väikese Eesti looduslugu üldise foonil, kuid eristada ja esile tõsta ka meie alale ainuomast. Seepärast püüangi populaarteaduslikus vormis kokku võtta Eesti viimaste aastamiljonite geoloogilist sündmustikku, loomulikult läbi oma vaatenurga, mis ei pruugi kaugeltki kokku langeda absoluutse tõega.

Eesti on olnud paljude sõdade tallermaa ja vaevalt saab ajaloosündmuste taustal tema asukohta õnnestunuks lugeda. Karm on Eesti kliima ja väheviljakas ning kivine tema põllumaa. Kuid geoloogia paljude sõlmküsimuste lahendamiseks on meile koonduanud rohkem andmestikku kui naaberaladele. Ma kalduksin temaatikast kõrvale, kui püüaksin valgustada seda ainulaadset, mida varjavad meie vanaaegkonna settekivimid ja kristalse alus-

korra struktuurid. Kuid ka pinnakate ja pinnamood on meil väga huvipakkuvad ja äratavad rahvusvahelist tähelepanu. Eeskätt puudutab see Läänemere arengulugu, sest mitte kusagil mujal pole vastavad setted ja pinnavormid nii täiuslikult esindatud. Pealegi on need paremini uuritavad kui teistes Läänemeremaades, kus need jäävad kas veepiirist allapoole või on vanuseliselt halvasti põhjendatud. Unikaalsed on meie meteoriidikraatrid ja lius-tikutekkelised pinnavormid. Seepärast oleks kurb, kui me ei tun-neks ja ei oskaks hinnata seda väärtuslikku, mis meie looduses peitub. Mul oleks hea meel, kui mu kirjutatu süvendaks lugejais loodusearmastust ja kodutunnet ning aitaks senisest paremini mõista neid looduslikke olusid, kus on kujunenud ja arenenud meie vähenõudlik ning raskustes kasvanud hõim.

*Seisan
metsa sees kaljusaarel,
kus enne meie aega
enne orja- ja muinasaega
enne kiviaega
enne jääaega
enne koletult kauget aega
sooja ookeani lained
lendasid riitidel kildudeks
ja läbi vee õitsesid
korallide elavad kofad.*

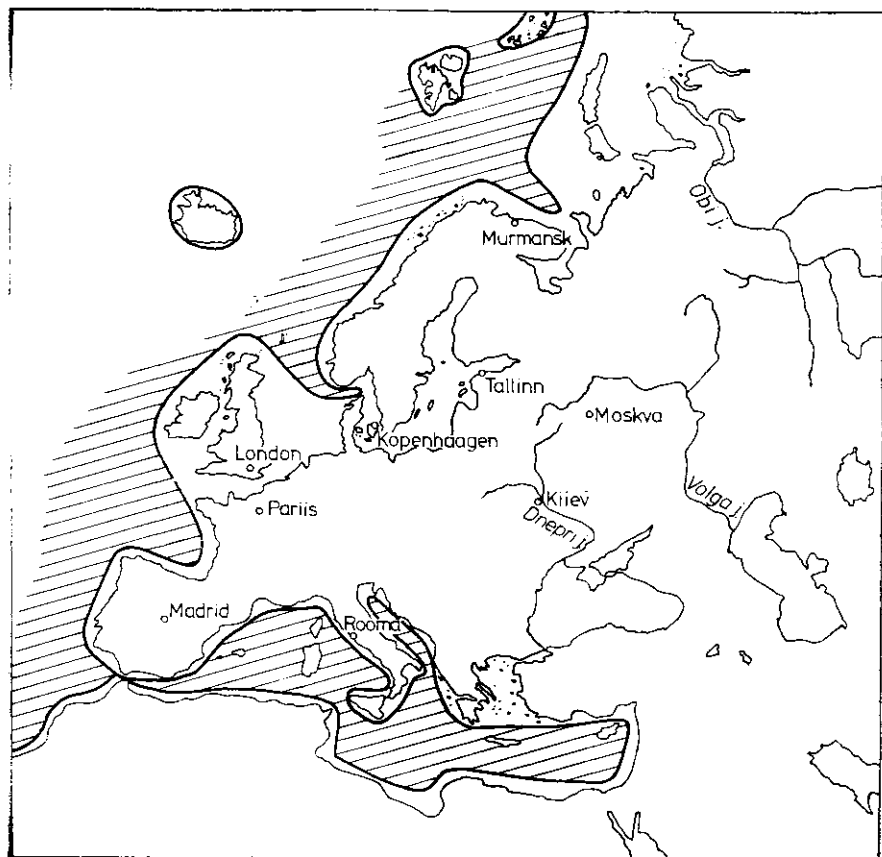
Milvi Seping

Enne jääaega

Nagu ajaloolane jagab inimkonna ajaloo mitmeks suureks etapiks, nii jaotab ka geoloog Maa kivise koore arengu väiksemateks lõikudeks. Sellela oleks võimatu orienteeruda maakera lõputuna tunduv asjaloo. Ka maakeral on oma eelajalooline, ürg-, vana-, kesk- ja uusaeg, geoloogias nimetame neid ajavahemikke aegkondadeks. Neid arengujärke piiritlevad mägede tekkimise rahutud perioodid, mis on põhjustanud suuri muutusi maismaa ja mere vahelkorras, aga ka looma- ja taimeriigis. Nendesamade põhimõtete järgi jaotatakse aegkonnad ajastuteks ja viimased omakorda veelgi väiksemateks ajalõikudeks.

Ligikaudu 70 miljonit aastat tagasi alanud uusaegkonda iseloomustab Maa ajaloo kõige intensiivsem mägede moodustumine ja mandrite kerkimine. Mandrid lõhestusid sel ajal tugevasti, kujunesid uued mered ja nüüdisaja kõrgeimad mäeahelikud: Alpid, Kaukasus, Pamiir, Himaalaja, Hindukuš, Andid, Kordiljeerid jt. Esines ägedaid maavärinaid ja vulkaanipurskeid. Suured muudatused toimusid looma- ja taimeriigis, mis järk-järgult omandasid nüüdisaegse ilme. Meid huvitava, selle aegkonna viimasel, kvaternaari ehk antropogeeni ajastul ilmus geoloogilisele areenile ka inimene.

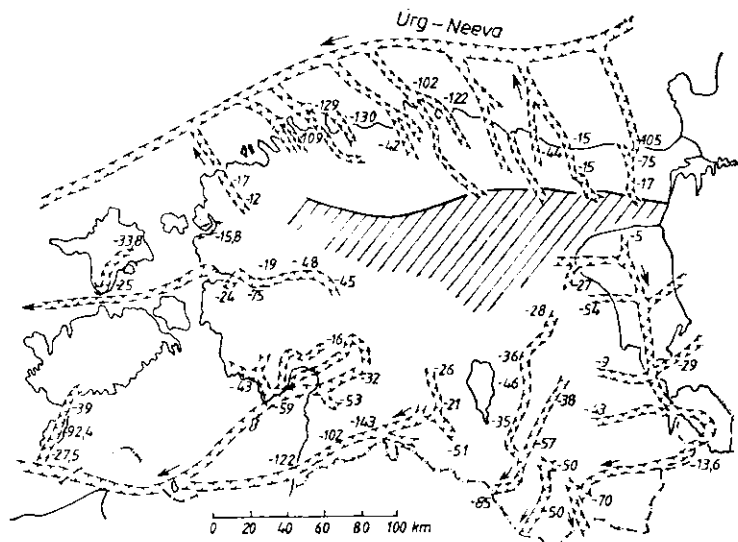
Kuid heidame enne veel korra pilgu kvaternarieelsele Euroopale (joon. 1). Näeme, et Põhja-Jäämeri oli sel ajal märksa väiksem kui praegu. Briti saared ei olnud veel mandrist eraldunud, Vahemerel puudus ühendus ookeaniga. Soome lahte, Läänemerd ja Peipsi järve polnud ning praeguse Läänemere ümbrus, sealhulgas ka Eesti maa-ala oli võrdlemisi suure absoluutkõrgu-



Joonis 1. Jääajaelne Euroopa oli praegusest hoopis erinev. Sel ajal ei olnud Läänemerd ega Peipsi järve, Briti saared olid aga mandri osa.

sega maismaa. Seda tunnistavad kohati rohkem kui 100 m sügavuselt aluspõhja lõikunud vanad orud (joon. 2), mis on meie nüüdisaegsetest jõeorgudest märksa suuremad. Sellised hiiglaslikud oruvagumused võisid tekkida üksnes tingimustes, kus jõed suusid merre, mille veepind oli nüüdisaegse Läänemere pinnast palju madalam.

Uusaegkonna mäetekkeprotsessid mõjustasid isegi väga ammu jäigastunud maakoore osi. Sel ajal kerkis tugevasti Ida-Aafrika kiltmaa ja Siberi platvormi lõunaosa suruti kõrgeteks pangasmägedeks. Pangasmägede tekkega kaasnes sügavate, järsunõlva-



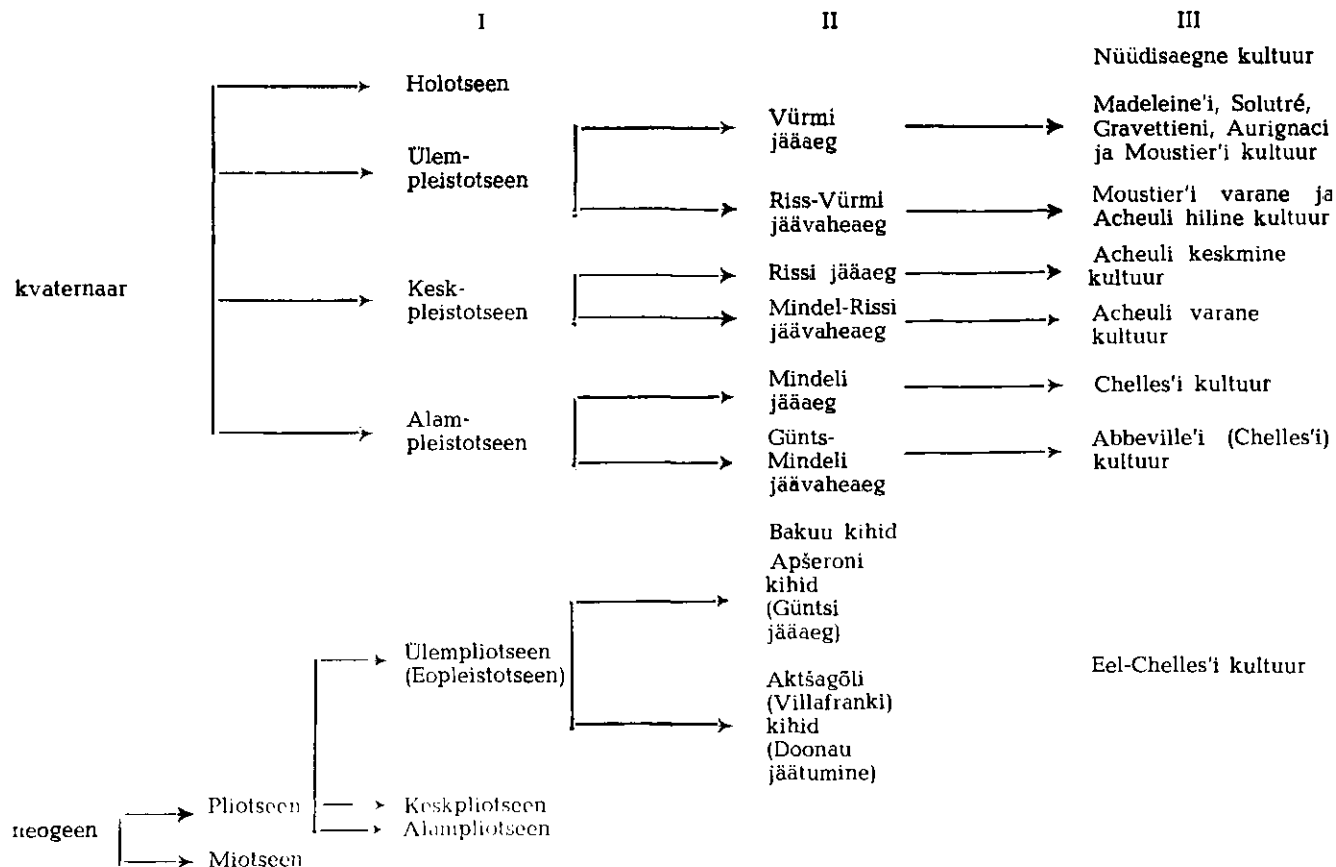
Joonis 2. Piki praegust Soome lahte voolas kvaternaarieelsel ajal Urg-Neeva, kuhu suubusid Põhja- ja Lääne-Eesti jõed. Kagu-Eesti jõed rühkisid Urg-Daugavasse. Selline oli Eesti iidne jõgedevõrk (rekonstrueerinud Elvi Tavast). Numbrid tähistavad puurimistega kindlaks tehtud orupõhja sügavust. Viirutatud ala märgib kvaternaarieelsest veelahet, nooled näitavad jõgede voolusuunda.

liste alangute kujunemine. Üks selline alang on näiteks tänapäeva sügavaima järve, Baikali nõgu. Suur, ligikaudu 5000 km pikkune alangute süsteem kujunes Araabia poolsaarel ja Ida-Aafrikas Türgi lõunapiirist Limpopo jõeni. Neis asuvad tänapäeval Surnumeri, Punane meri, Adeni laht, Tanganjika, Malaavi, Rudolfi ja Mobuto Sese Seko (Alberti) järv. Mandrid kerkisid ja mered taandusid. Uusaegkonna teine pool, neogeen, oli mandrite suurimaid valitsemisaegu kogu Maa ajaloos. Vastavalt sügavnesid oluliselt ookeaninõod, pärandades meile nüüdisaegsed suured reljeefikontrastid.

Uusaegkonna alguses, paleogeenis, polnud taimeriigis veel selliseid võõndeid nagu tänapäeval. Laial alal Vahemeremaadest Arktikani valitses soe troopiline ja lähistroopiline kliima, Ida-Euroopa lauskmaal kasvasid palmid, loorberi- ja viigipuud, Kesk-Euroopas banaanipuud, mirdid ja akaatsiad, praegu lume ja jääga kaetud Gröönimaal aga tammed, kastanid, magnooliad ja teised soojalembesed taimed. Õistaimede lopsakus, arvukus ja mitmekesisus soodustasid taimtoiduliste imetajate kiiret arengut. Veelgi

Tabel 1

Kvaternaari ja neogeeni ladestu stratigraafilised suurühikud /I/, viimastele vastavad kihid ja tähtsamad geoloogilised sündmused /II/ ning setetele iseloomulikud arheoloogilised kultuurid ja faunakompleksid /III/



suuremal määral sõltus õitsvatest taimedest lindude ja putukate areng.

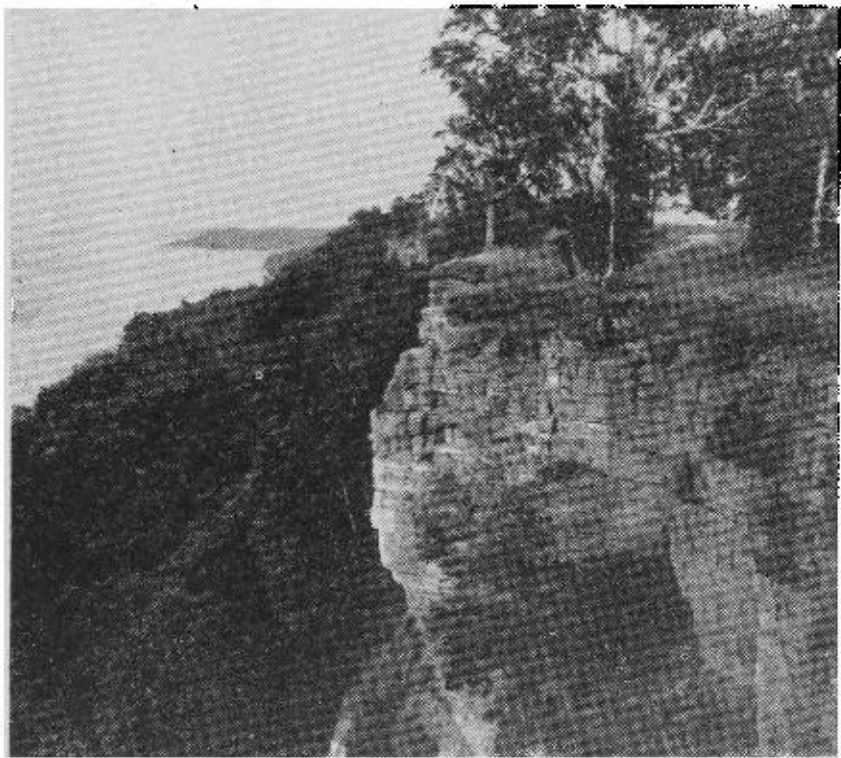
Paleogeeni ja neogeeni piiril, umbes 26 miljonit aastat tagasi, alanud mandrite kiire kerkimisega kaasnes kliima üldine jahe-
nemine. Miotseenis (vt. tabel 1) kasvasid Lõuna-Euroopas palmid, mammutipuud ja sooküpressid, Kesk- ja Põhja-Euroopas laialehi-
sed metsad. Pliotseenis nihkus troopikavöötme põhjapiir varase-
maga võrreldes kuni 20 laiuskraadi võrra lõuna poole ja sooja-
lembesed taimed säilisid vaid tänapäeva Vahemeremaades. Tek-
kisid nüüdisaegsed taimkattevööndid, ainult selle erinevusega,
et tundravööndit veel polnud. Neogeeni lõpul halvenes kliima
veelgi. See tõi kaasa ulatusliku mandrijäätumise, mille raskus-
punkt langes juba kvaternaari ajastusse.

Neogeeni loomastik oli nüüdisaegsele lähedane, ilmusid karud,
hüüanid, kaamelid, rebased, koerad, hundid, sead, lambad, kael-
kirjakud, jõehobud ja paljud teised praegu kõigile hästi tuntud
loomad. Üks võimsamaid kiskjaid oli mõõkhambuline tiiger, kelle
erakordselt liikuvad lõualuud ja kuni 14 cm pikkused kihvad
lubasid tal mistahes vaenlasega vaevata toime tulla.

Neogeenis kujunesid välja ka inimese eellased, poolahvid ehk
primaadid. Need arenesid kriidiajastul ja paleogeeni esimesel
poolal elanud putuktoidulistest imetajatest. Primaatidel ei olnud
kiskjate teravaid hambaid ja küüsi ega rohusööjate kiirust. Need
väikesed ja kaitsetud loomakesed leidsid oma tugevamate konku-
rentide eest pelgupaiga metsas. Nad õppisid puude otsa ronima
ja end seal hädaohu ajal varjama. Et hädaoht varitses neid ena-
masti alati, siis veetsid nad puude otsas suurema osa oma elust.
Puult puule hüppamiseks tuli primaatidel õppida okstest osavasti
kinni haarama ja täpselt kaugust hindama. Vastavalt sellele kju-
nesid neil akrobaadi keha, hästiarenenud esijäsemed ja terased
silmad. Elu puude otsas ei võimaldanud suurt toiduvalikut. Tuli
leppida kõige kättejuhtuvaga: puuviljade, puude pungade, pähk-
lite, linnunade, linnupoegadega jms. Seetõttu ei kujunenud
meie kaugel esivanematel, erinevalt teistest imetajatest, kind-
lale toitude kohanenud hammastikku.

Et neogeenis kliima halvenes ja metsad hõrenesid, ei saanud
primaadid vahemaade ületamiseks enam puult puule hüpata, vaid
neil tuli laskuda maa peale. See nõudis uut spetsialiseerumist.
Paljud primaadid ei pidanud katsumusele vastu ja surid välja.
Säilisid kõige vastupidavamad ja muutumisvõimelisemad isendid,
kes kvaternaari ajastul panidki aluse inimese tekkimisele.

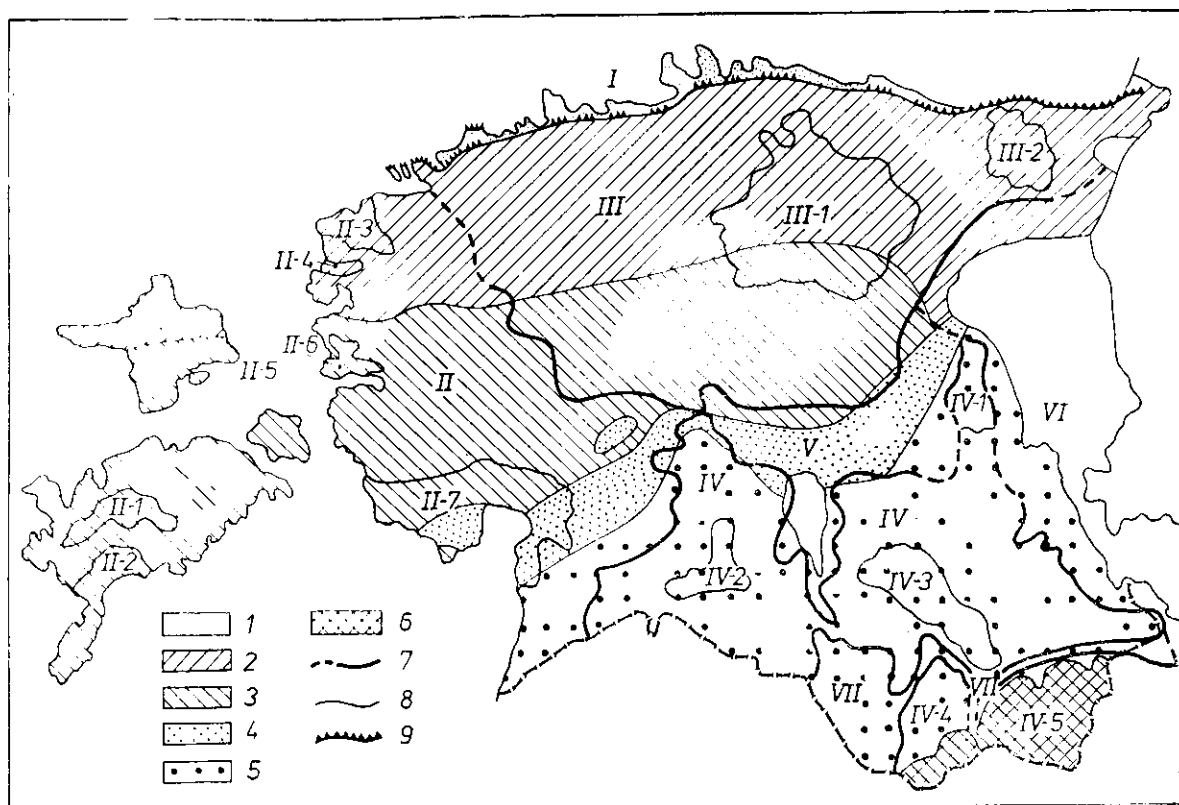
Kõik need olulised sündmused meie eellaste arengus toimusid
Eestimaast kaugel, praegusel Aafrika mandril. Kuid milline nägi
välja sel ajal meie kodumaa? Tõenäoliselt oli Eestimaa pinnamood
sel ajal praegusest märksa ühetoonilisem ja igavam. Oli ju Eesti



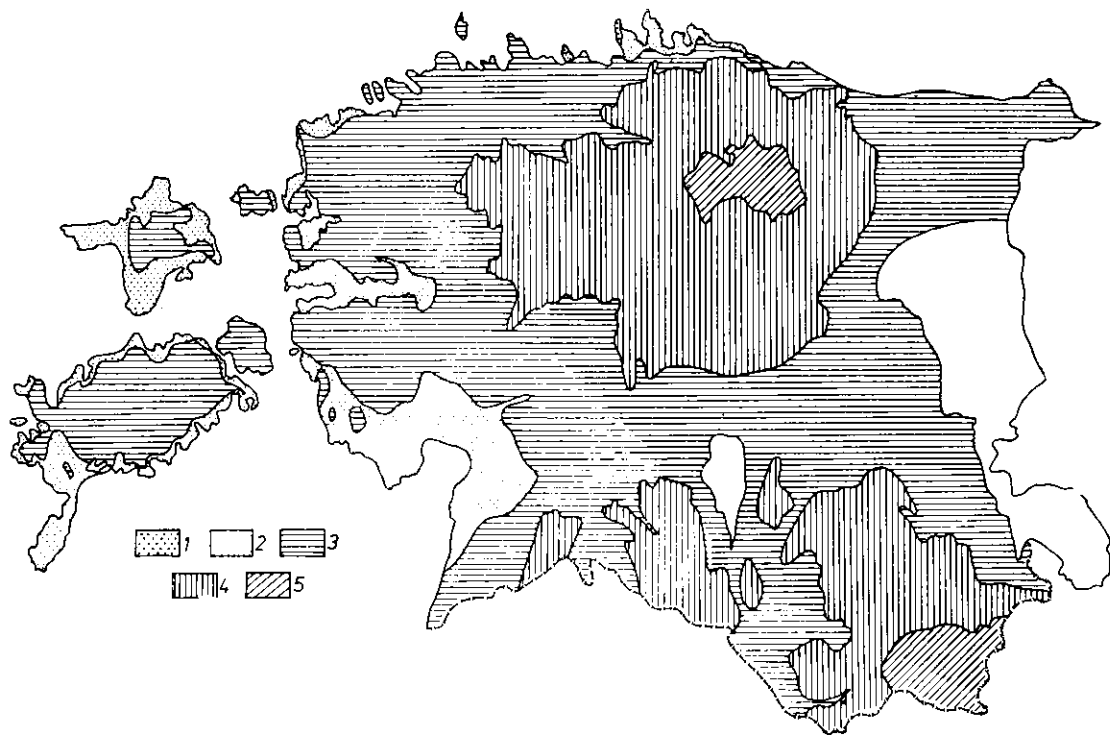
Joonis 3. Põhja-Eesti paekallast on voolinud jääajaeelsed hiidjõed, räsinud mandriliustikud ja murrutanud merelained. Endiselt püsib ta meie kõige suurjoonelisema loodusmälestisena. Paekallas Ontikal. Herbert Viidingu foto.

alates devoni ajastu lõpust, s. o. ligikaudu 320 miljoni aasta jook-sul maismaa, kus pikaajalise kulutuse tulemusena kujunesid välja aluspõhjakivimeist koosnevad üksluised lainjad tasase laega lava-maad, mida liigestasid laiad ja sügavad jõeorud (joon. 2).

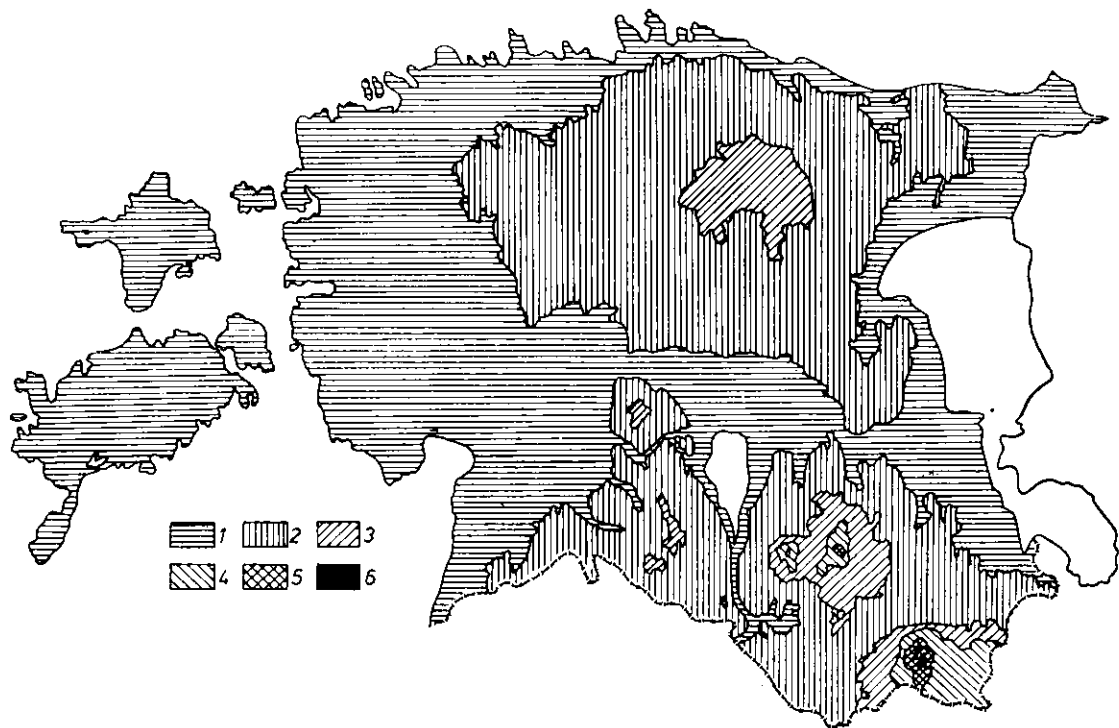
Aluspõhjakivimite erineva kulumiskindluse ja ühesuunalise kallakuse tõttu lõunasse on lavamaade põhjanõlv järsk, vastas-nõlv aga lauge, vana reljeef tervikuna seega astanguline. Eba-sümmeetriline ehitus on eriti ilmekas Viru-Harju lavamaal, mille põhjapiiriks on Põhja-Eesti paekallas (joon. 3). Selgelt astanguli-sed on aga ka Kesk- ja Ülemdevoni lavamaade põhjanõlvad. Lavamaade vahele jäävad Soome lahe, Kesk-Eesti ja Võru-Piisa kulumisnõod (joon. 4).



Joonis 4. Aluspõhjakevite avamusaladele kantud Eesti vana reljeefi suur- ja keskvormid (Elvi Tavasti ja autori järgi): 1 — kambriumi liivakivid ja savid; 2 — ordoviitsiumi lubjakivid ja dolomiidid; 3 — siluri lubjakivid ja dolomiidid; 4 — keskdevoni Pärnu ja Narva lademe liivakivid, aleuroliidid, mergliid, dolomiidid ja savid; 5 — kesk- ja ülemdevoni kirjuvärvilised liivakivid, aleuroliidid ja savid; 6 — ülemdevoni lubjakivid ja dolomiidid; 7 — aluspõhja suurvormide piir; 8 — aluspõhja keskvormide piir; 9 — Põhja-Eesti paekallas (klint); I — klindiesine tasandik (Soome lahe nõgu); II — Lääne-Eesti tasandik: 1 — Kesk-Saaremaa kõrgendik; 2 — Sõrve, 3 — Nõva, 4 — Noarootsi, 5 — Väinamere, 6 — Matsalu ja 7 — Pärnu tasandik; III — Viru-Harju lavamaa: 1 — Pandivere kõrgustik, 2 — Ahtme kõrgendik; IV — Devoni lavamaa: 1 — Kokora kõrgendik, 2 — Lõuna-Sakala kõrgustik, 3 — Otepää kõrgustik, 4 — Karula kõrgendik, 5 — Haanja kõrgustik; V — Kesk-Eesti nõgu; VI — Peipsi-Pihkva vagumus; VII — Valga tasandik ja Võru-Piisa nõgu.



Joonis 5. Eesti aluspõhja reljeefi üldpilt on väga sarnane nüüdisreljeefile, mis lubab kõnelda nüüdispinnamoe päritud iseloomust. Kõrgusvahed: 1) alla -50 , 2) $-50-0$, 3) $0-50$, 4) $50-100$, 5) üle 100 m.



Joonis 6. Eesti nüüdispinnamoes avalduvad kõrgusvahed: 1) 0—50, 2) 50—100, 3) 100—150, 4) 150—200, 5) 200—250, 6) üle 250 m.

Nagu nüüdisreljeefiski võib aluspõhja pealispinnal olevaid vorme jagada mikrovormideks (näit. jääkriimud), pisi- (alla 2 m), väike- (2—10 m), keskmisteks (10—25 m), suur- (25—50 m) ja hiidvormideks (üle 50 m).

Suurvormidena on otstarbekas vaadelda (joon. 4) klindiesist tasandikku ehk Soome lahe nõgu (I), Lääne-Eesti tasandikku (II), Viru-Harju lavamaad (III), Devoni lavamaad (IV), Kesk-Eesti nõgu (V), Peipsi-Pihkva vagumust (VI), Valga tasandikku ja Võru-Piusa nõgu (VII) ning Põhja-Eesti paekallast. Suurvormidel eristuvad 80 m samakõrgusjoont ületavad kõrgustikud (näit. Pandivere ja Haanja) ja neist mõnevõrra madalamad kõrgendikud (näit. Jõhvi ja Kesk-Saaremaa). Lisaks orgudele on suurvormide pinda kulunud keskmisnõod (näit. Ojamaa nõgu) ja -tasandikud (näit. Nõva ja Sõrve).

Uldiselt on Eesti aluspõhja reljeef ja selle kõrgusvahed (joon. 5) nüüdisreljeefile väga sarnased (joon. 6), mis lubab kõnelda meie praeguse pinnamoe päritud iseloomust. Vana reljeef mõjustas jääajal suurel määral liustike liikumist, põhjustades jäälahkmealade ning erineva liikumiskiiruse ja energiaga liustikuvoolude kujunemist. Viimased omakorda määrasid kulutus- ja kuhjealade asukoha ning jääga toodud setete paksuse, koostise jmt. iseärasused. Suurem oli aluspõhja reljeefi mõju iga jäätumise alguses ning lõpus, mil jää oli õhem ja liustike liikumine seetõttu aluspinna kujust rohkem sõltuv.

Aluspõhja suurvormidest on Põhja-Eestis kõige ulatuslikum Viru-Harju lavamaa, mille pealispinna moodustavad kulumisele vastupidavamad karbonaatkivimid. Selle põhjapiiril, üleminekul pehmete liivakivide esinemisalal kujunenud Soome lahe nõole, asub Põhja-Eesti paekallas. Soome lahe nõo maismaalise lõuna-osa kohal, mis jääb Põhja-Eesti paekalda ja praeguse rannajoone vahele, on liivakivist ja sinisavist aluspõhja pealispind valdavalt 0—20 meetri kõrgusel.

Viru-Harju lavamaalt kerkivad Pandivere kõrgustik ja Jõhvi kõrgendik, millest läände jäävad Ojamaa nõgu ja Vasavere matunud org.

Eesti lääneosa asub paesse kulutatud Lääne-Eesti nõo kohal, kus aluspõhja kõrgus on -20 ja $+20$ m vahemikus. Kõrgeim keskvorm on sel alal Kesk-Saaremaa kõrgendik. Väiksemad nõod (Väinamere, Pärnu, Sõrve, Matsalu, Noarootsi ja Nõva) jäävad enamasti allapoole nüüdisaegset merepinda.

Et meie paekihid on väikese nurga all ($11-15^\circ$) kallutatud lõunasse, madaldub ka Viru-Harju lavamaa pealispind lõuna suunas ja seal, kus karbonaatkivimid lõpevad ning algab pehmete devoni liivakivide ala, algab ka Kesk-Eesti nõgu koos lõuna suunas sopistuva Võrtsjärve nõoga. Kesk-Eesti nõo põhi on valda-

valt 20—40 m kõrgusel nüüdismerepinnast. Itta jääb meridionaalsuunaline Peipsi-Pihkva nõgu.

Ulatuslik astanguliselt kerkiv Devoni lavamaa on orgude ja nõgudega liigestatud rohketeks saarlavadeks. Võrtsjärvest läände jääb Sakala lavamaa, mille kõrgeim osa on Lõuna-Sakala kõrgustik. Itta jääb Ugandi lavamaa, mille kõrgema osa moodustab aluspõhjaline Otepää kõrgustik (80—120 m). Aluspõhi tõuseb saarena 60 m kõrgusele Peipsi läänekaldal Kokora kohal. Seda ala vaadeldakse samanimelise saarlavana.

Eesti kaguosas asub ülemdevoni karbonaatkivimite levikuala, mis moodustab kolmanda, kõige lõunapoolsema astangulise pinnavormi. Selle kõrgeim osa on Haanja aluspõhjaline kõrgustik, pind 166 m üle merepinna, s. o. kõrgemal kui kusagil mujal Eesti maalal. Nüüdiskõrgustik on kujunenud jäätumiseelsele kõrgustikule.

Praeguse kuni 130 m kõrguse Karula kõrgendiku all asub samuti kuni 80 m kõrgune aluspõhjalistest liivakividest kõrgendik. Viimase ja Sakala ning Ugandi lavamaa vahele jääb Valga nõgu (20—40 m), millega liitub kirde suunas kulgev Peipsi-Pihkva nõkku ulatuv Võru-Piusa vagumus. Haanja kõrgustikku eraldab Karula kõrgendikust Võru-Aheru vagumus.

Juba vana reljeefi suured kõrgusvahed eeldavad, et siin pidi enne jääaega olema keerukas vetevõrk. Rohked puuraugud ja hoolikad geofüüsikalised uuringud on võimaldanud selle põhijooned kindlaks määrata (joon. 2). Peaarteriks oli praeguses Soome lahes voolanud hiiglaslik Ürg-Neeva, kuhu Põhja-Eestist suubus rohkesti veerikkaid lisajõgesid. Asudes peajõest tunduvalt kõrgemal, uuristasid need endale sügavad orud. Harkus jääb oru põhi 145 m, Väanas aga 127 m allapoole praegust merepinda.

Kuigi Peipsi-Pihkva nõos kulges peaorg arvatavasti põhjast lõunasse, on Lõuna-Eestiski veed, kasutades ookeani suunas kulgevaid orge Põhja-Lätis ja Irbeni väina all, voolanud eeskätt läände. Mõneti madalam org on kindlaks tehtud Matsalu lahe ja Soela väina all. Võimalik on, et seal voolanud hiidjõgi on mõjustanud Mustjala panga ja kogu siluri paekalda kujunemist.

Jääajaelsete jõgedega võrrelduna on meie praegused jõed lausa kääbused. Kuigi kasutavad suurelt osalt oma eelkäijatega ühiseid vooluteid, on nüüdisjõed lõikunud tunduvalt madalamale ning nende uuristuski tundub tühisena. Tuli ju ürgjõgedel oma voolutee uuristada kõvasse aluspõhja, nende järglastel on aga hoopis lihtsam, sest vanu orge täitvad kobedad setted on tunduvalt kergemini kulutatavad. Kuid küllap oli vanadel jõgedelgi abimehi nende raske töös. Teatavasti on meie aluspõhjas mitmeid tektoonilisi rikkevööndeid, kus kivimid on purustatud ja lõhelised. Ilmselt kohandusid vanad vooluteed nende nõrgenda-

TARTU ULIKGOLI
RAAMATUKOGU

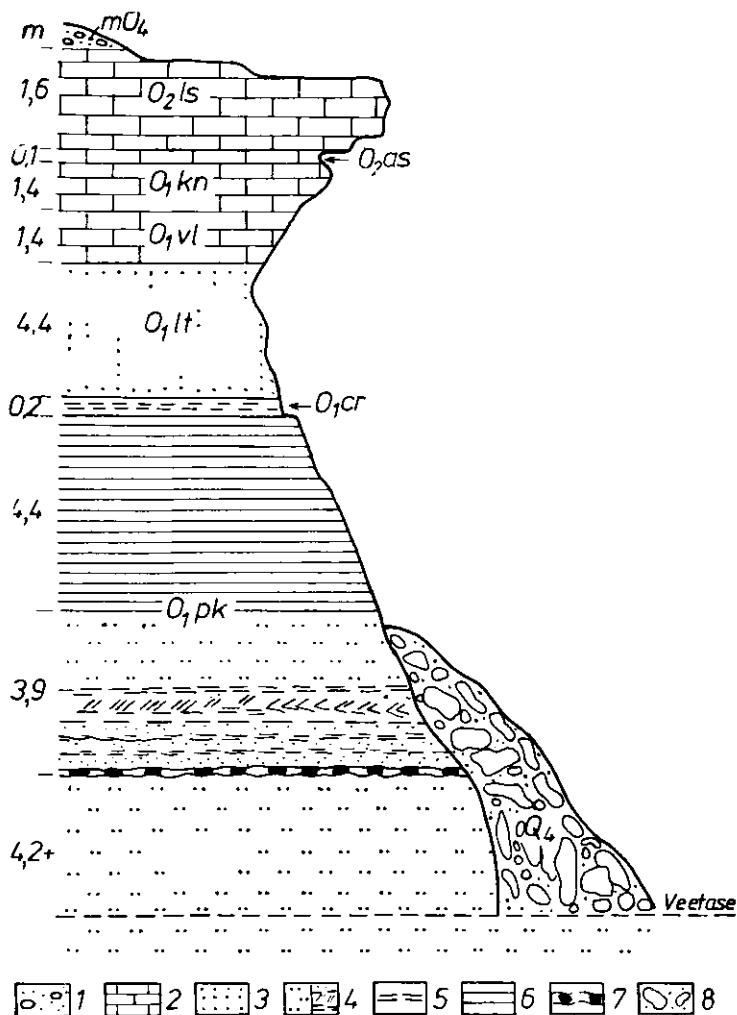
tud vöönditega, mis hõlbustas kilomeetreid laiade ja rohkem kui 100 m sügavate orgude kujunemist.

Morfoloogiliselt on vanad orud valdavalt moldorud, kuid leidub ka kanjonorge (näit. Abjas), kus veerude kallakus ulatub 30—40 kraadini. Lõuna-Eesti orud on järsemaveerulised kui Põhja-Eesti omad. Neid on hilisemad geoloogilised jõud ka vähem ümber kujundanud. Jooniselt 2 näeme, et Põhja-Eesti orud on valdavalt loode—kagu-suunalised. Seetõttu pääsesid neisse kergesti jääajal Skandinaavia mägedest tulnud liustikud, mis orge tublisti ümber vormisid. Paljusid neist tuleb seetõttu nimetada jääkündeorgudeks. Lõuna-Eesti ida—lääne-suunalised orud aga täitsid jääga ning hiljem libises jää neist lihtsalt üle.

Vana jõgedevõrku on raske avastada, sest orud on valdavalt nooremate setetega täitunud. Üksnes Lõuna-Eesti ürgorud võimaldavad kohati, ja ikkagi ainult osaliselt, imetleda neid jääajaeelseid hiide. Suurim meie silmadele avanev jääajaeelne pinnavorm on Põhja-Eesti paekallas ehk klint, hiiglasliku 1200 km pikkuse Balti klindi läänepoolne osa. Idas ulatub see Laadogasse suubuva Sjassi jõeni, Paldiskist läänes jätkub astang Läänemere põhjas, et seejärel taas üle merepinna tõusta Rootsis Ölandi saare lõunarannikul. Tõsi, paekallas pole just eriti õnnestunud nimetus, sest paekividest (lubjakividest) koosneb ainult selle suurastangu ülemine osa. Alumise moodustavad liivakivid, diktüoneemaargilliit, sinisavi jt. kobedad setendid (joon. 7). Kohati on klint ka kahevõi mitmeastmeline, kusjuures alumised astangud koosnevad reeglina purdkivimeist (liivakividest, savidest). Suurem osa paekaldast esineb looduses järsu nõlvana (10—30°), mille alaosa on mattunud kas rusukalde või mereliste setete alla (joon. 8). Kuid kohati esineb ka väga kauneid järsu seinana esileulatuvaid klindi osi, mida nimetatakse pankadeks (näit. Saka, Türisalu, Suurupi jt.). Kõrgeim on Ontika pank, 55,6 m üle merepinna (joon. 3).

Klint ei esine kaugeltki ainult sirgjoonelise seinana, vaid see on liigestatud klindilahtedeks ja -neemikuteks, mis tekkinud vooluvee, mandrijää ja Läänemere lainete toimetel.

Klindi kujunemist seletades on palju piike murtud. Seda on peetud küll tektooniliseks murranguks (C. Grewingk, B. Doss, E. Kraus, W. Ramsay jt.), küll liustikukündeliseks (A. Jentzsch jt.), küll abrasiooniliseks (Fr. Schmidt jt.). Enamik nüüdisaja teadlasi loeb klinti põhjendatult polügeneetiliseks moodustiseks, mis tekkis esialgselt kihiaastanguna. Et see asetses erineva vastupidavusega lubja- ja liivakivide avamusala piiril, kohandus temaga Ürg-Neeva vool. Võimalik on, et esialgu madala järsaku edasist kasvu, setete ärakannet ja klindi nihkumist lõuna suunas soodustas peale maakerke ja kergesti lagundatavate liiva- ja savikivimite olemasolu uuristusastangu jalamil ka tektooniline lõhelisus,



Joonis 7. Lubjakividest koosneb ainult paekalda ülemine osa, mistõttu selle hiidvormi nimi — paekallas — pole just eriti õnnestunud. Joonisel näeme August Tammekannu poolt fikseeritud paekalda ehitust Pakri neemel, kus pehmetel liivakividel lasuvad kõvemad karbonaatkivimid karniisina ette ulatuvad: 1 — meresetted, 2 — karbonaatkivimid, 3 — glaukonitliiv ja -liivakivi, 4 — liivakivid ja aleuroliidid, 5 — koberdavad aleuriidid ja savid, 6 — diktüoneemaargilliit, 7 — konglomeraat, 8 — rusukalle. Indeksid tähistavad lademeid.



Joonis 8. Sageli on paekallas mattunud nooremate setete alla ja jälgitav vaid kamardunud nõlvana. Fotol näeme sellist mattunud klindilõiku Lool. Anto Raukase foto.



Joonis 9. Tugev lainerünne uuristab paekaldasse murrutuskulpad ja süvendid, mille kohale suured paeplaadid jäävad karniisidena rippuma. Väike-Pakri. Kaarel Orviku foto.



Joonis 10. Järsaku jalamile varisenud paekallad kaitsevad esialgu astangut edasise murrutuse eest, kuid peagi pihustuvad nemadki tormilainetes ning kantakse kruusa ja peenesena minema. Väike-Pakri. Kaarel Orviku foto.

kuid otsesed andmed selle kohta puuduvad. Me ei tea sedagi, kuipalju aastamiljoneid selline kulutamine kestis, kuid liustiku ründele astus paekallas vastu juba vägeva seinana. Liustikud süvendasid klindilahtesid ja kujundasid klindineemikud, mis jäävaheaegsetes meredes (Holšteini ja Eemi meri) ning pärast jääaega said Sõome lahe rannajoonena tormilainete ründeobjektideks. Astang omandas tüüpilise rannaastangu kuju. Selle alumises osas olevates kergemini uuristatavates kivimites tekkisid koopataolised süvendid — murrutuskulpad, mis suurenedes hakkasid varisema, nagu toimub praegugi Väike-Pakril (joon. 9) ja Saaremaal Mustjala või Ohesaare pangal. Järsaku jalamile variseb pidevalt paekallad, mis esialgu kaitsevad astangut edasise murrutuse eest (joon. 10), kuid peagi pihustatakse needki ning kantakse kruusa ja peenesena kaugemale. Maakerke tõttu on rannajoon taandunud põhja poole ja klint jäänud valdavalt merest eemale, näiteks Lahemaal Vihulas juba ligikaudu 8 km.

Tänapäeval sõltub paekalda kujunemine suurel määral inimtegevusest, kuid jätkuvad ka varinguteni viivad murenemisprotsessid. Astangut õõnestavad surveallikad, kulutavad tuul ja vooluvesi. Lavamaalt laskudes on paljudel jõgedel klindi serval kujunenud joad või kaskaadid.

*Uus ilmub kobades ja argsi
ja vaidlust tõstab alati.
Nii oli juba enne Marxi
ja on ka meie päevil nii.*

August Sang

Kust alustada?

Kust alustada kvaternaari ajastut, sellele ei oska praegu keegi üheselt vastata. Geoloogiateaduse viimaste aastakümnete jooksul järsult kiirenenud arengus on olulist osa etendanud uute uurimismeetodite (kaugseire, isotoopanalüüsid, termoluminestsentsi meetod, geofüüsikalised uuringud, ookeanide süvapuurimine jt.) kasutuselevõtmine ning vanade meetodite täiustamine. Uute faktide tulvas on paljud seni aksioomideks peetud tõed muutunud vaieldavateks.

Kvaternaariks loetakse neogeenile järgnevat ja veel praegugi jätkuvat geoloogilist ajalõiku, mille kestuseks erinevad autorid hindavad 550 tuhat kuni 10 miljonit aastat. Eespool oli juttu sellest, et kvaternaarile eelnenud neogeen oli kõige rahutumaid ajastuid Maa ajaloos. Mandrid lõhestusid siis tugevasti, kujunesid uued mered ja ookeanid, kerkisid maapinda nüüdki ilmestavad kurdmägede ahelikud, toimusid ägedad maavärinad ja vulkaanide pursked. Neogeeni ajastul, eriti selle esimesel poolel, toimus viimane suur paleogeograafiline murrang, mis andis mandritele ja ookeanidele enam-vähem nüüdisaegse kuju. Viimase paari aastamiljoni jooksul pole seevastu mandrite ja mäeahelike asetusel midagi oluliselt muutunud. Toetudes eeskätt tektoonika andmetele, peab tundud nõukogude neotektoonik Nikolai Nikolajev (sünd. 1906) kõige õigemaks lugeda kvaternaari alumine piir Miotseeni ja Pliotseeni* vahel olevaks (tabel 1), millega ta saab kvaternaari ajastu kestuseks ligikaudu 10 miljonit aastat.

Neogeeni ajastu teise poolega võrreldes on taimestiku ja loomastiku koosseis väga vähe muutunud. Professor V Gromovi (1896—1978) ja tema arvukate õpilaste tööd kinnitavad, et just Miotseeni ja Pliotseeni piiril toimus eriti järsk faunakomplekside muutus. Sel ajal ilmusid peamised kvaternaari ajastule iseloomu-

* Vastavalt kokkuleppele kirjutatakse ladestute ja ladekondade nimetused (näit. devon, kainosoikum) väikese algustähga, väiksemate ühikute nimetused aga suure algustähga (vt. ka tabel 1).

likud liigid ja perekonnad ning hävisid neogeenile omased vormid. Pliotseenis toimusid ka uusaegkonna esimesed mandrijäätmised.

Pliotseeni kvaternaari ajastusse lülitamise kasuks kõnelevad ka uued andmed inimese eellase ilmumisest. Seda sündmust on kvaternaari piiri määratlemisel alati peetud väga oluliseks. Tuntud antropoloogi Louis Leakey (1903—1972) üksteisele järgnenud, esialgu teadlaste seas skeptilist suhtumist tekitanud leiud Aafrikast tõestavad, et inimene eraldus loomariigist hoopis varem, kui seni arvati, võib-olla isegi kuni 40 miljonit aastat tagasi. 1960. a. leidis Leakey Tansaania Olduvai orus Ngorongoro vulkaani lähedal senitundmatu primaadi sindžantropuse põia-, varba- ja koljuluud. Luid sisaldavate kihtide vanuseks saadi California ülikooli laboratooriumis kaalium-argooni meetodi abil 1 570 000—1 890 000 aastat, hiljem Keeniast Rudolfi järve kaldalt pärineva kolju vanuseks aga koguni 2,8 miljonit aastat. Koos sindžantropuse luudega ja viimasest ülal- ning allpool esines arvukalt australopiteekuste ja pitekantropuse vahepealse vormi *Homo habilis*'e ning Villafranki kihtidele iseloomulike suurime-tajate luid. Lasuvatest kihtidest leiti pitekantropuse kolju koos primitiivsete kivist tööriistadega.

Olduvaile järgnesid uued *Homo habilis*'e leiud Tšaadi Vabariigi põhjaosast ja Jordani jõe orust. Keenias Fort Ternani juures avastas Louis Leakey koos abikaasaga ja poeg Richardiga inimesetaolise olevuse *Kenyapithecus wickeri* jäänused, mille vanust hinnati ligikaudu 14 miljonile aastale. Seejärel tuli taas sensatsiooniline leid Songhorist ning Victoria järve Rusinga saarelt, kust Leakey'd leidsid primaadi *Kenyapithecus africanus*'e lõualuu koos hammastega; leidude vanus võib olla kuni 20 miljonit aastat.

Pole kahtlust, et Aafrikast, inimkonna arvatavast hällist, kuuleme veel palju huvitavat. Kuid välistatud pole leiud ka Kagu-Aasiast, sest antropoloogide hulgas üsnagi levinud seisukoha järgi tekkis inimene enam-vähem üheaegselt kaunis laialdasel territooriumil, ning missugused olid inimkonna arengus evolutsiooni umbed, pole veel kaugeltki selge.

Inimese sugupuud on üldse äärmiselt raske määrata, sest tõestusmaterjali on liiga vähe. Selged pole ka kriteeriumid, millest alates meie arengureas võib rääkida juba inimese eellasest ja inimesest. Üks neist on tööriistade valmistamine. Kuid tööriista endagi mõiste on üsna ebamäärane. Kas lugeda selleks näiteks teravaotsalist keppi, teravakandilist kivi vms.? Küll võib aga väita, et inimese eellaste uurimisel kogunenud andmestik kõneleb samuti kvaternaari ajastu varasema alguse kasuks.

Kvaternaari ajastul on teisi isearasusi, nagu näiteks suur jäätu-

mine, mille jäljed on märgatavad veel praegugi. Jäätumised ei alanud üleöö. Eespool täheldasime, et üldine planetaarne jahenemine toimus ligikaudu 30 miljonit aastat tagasi. Ulatuslike liustike kujunemine algas siiski märksa hiljem, mäestikes arvatavasti 3—4 miljonit aastat tagasi. Antarktika jääkilp moodustus tõenäoliselt 2,6 miljonit aastat tagasi. Umbes 1,5—1,7 miljonit aastat tagasi algas ookeani pinnakihtide planetaarne jahenemine ja juba vähemalt 1,25 miljoni aasta eest tungisid mandriliustikud Alpideesisele tasandikule.

Nende andmete põhjal on selge, et kvaternaari ajastu vanus on rohkem kui miljon aastat, kuid kui palju, see on endiselt laheline. Uusimatel geokronoloogilistel skaaladel tuuakse ajastu kestuseks arv $1,5 \pm 0,5$ miljonit aastat, mis loomulikult ei saa uurijaid rahuldada. Kuid mida teha, kui üksmeel puudub.

Vastavalt NSV Liidu Ametkondadevahelise Stratigraafia Komitee otsusele peetakse kvaternaari alumiseks piiriks Nõukogude Liidus Apšeroni ja Bakuu kihtide vahelist piiri (tabel 1). See seisukoht erineb Londoni ja Kopenhaageni Rahvusvahelise Geoloogiakongressi ja Rahvusvahelise Kvaternaari Ajastu Uurimise Liidu kongresside soovituselt, kus kvaternaari alumist piiri on soovitatud lugeda alates Kalaabria ja Villafranki kihtidest Lääne- ja Lõuna-Euroopas (vt. tabel 1). Eespool oli juba juttu tõenäoliselt Villafranki vanusega kihtide dateeringust Olduvai orus. Sellele lähedasi dateeringuid on saadud mereliste tüüpläbilõigete uurimisel Lõuna-Itaalias. Nimelt ilmusid neile kihtidele iseloomulikud, ulatuslikel aladel hästituntavad ja arvukad kambriliste juhtvormid *Anomalia baltica* ja *Cassidulina laevigata carinata* umbes 1,5—1,7 miljonit aastat tagasi. Sellesse ajavahemikku jäävad peale *Homo habilis*'e arvukate leidude ka mitmed teised olulised, tõsi küll, vaieldavad sündmused, nagu näiteks Keskaktšagõli jäätumine (1,48—1,7 miljonit aastat tagasi), uusaegkonna esimesed maailmamere pinna glatsieustaatilised kõikumised jt.

Peaaegu kõik Nõukogude Liidu kvaternaarigeoloogid peavad vajalikuks praegust kvaternaari piiri muuta, kuigi enamasti mitte nii radikaalsel kujul, nagu soovitab N. Nikolajev. Mõne geoloogi arvates tuleks liita kvaternaariga osa Keskpliotseenist (näit. K. Nikiforova), teiste arvates kogu Ülempliotseen (V. Gritšuk), kolmandate arvates aga ainult osa sellest (E. Šantser). On neidki (G. Goretiski), kes ei pea piiri muutmist vajalikuks. Kõik see teeb Nõukogude Liidu piires õige lahenduse leidmise väga keerukaks. Lihtsaim tee oleks muidugi jätta kõik nii nagu on, kuid see oleks vastuolus rahvusvaheliste otsustega.

Meie koduvabariigi geolooge vaidlus kvaternaari alumise piiri ümber ei eruta, sest Ülempliotseeni (Eopleistotseeni) setted Eestis puuduvad.

*Omandatud tõde on illus, kuid
kõik, mis on illus, pole veel tõde.*

Francis Hutcheson

Mida jagada ja kuidas jagada?

Eesti asus omaaegse jäätumiskeskuse lähedal, mistõttu kvaternaari ajastu vältel olid siin valdavad kulutusprotsessid. Pealetungiv jää liikus meie aladele tohutu jõuga, tasandades teel olnud reljeefikonarused, haarates kaasa kõik, mida kohtas, ning kandes selle kaugele lõunapoolsetele aladele. Seetõttu on kvaternaari-setete paksus meil tunduvalt väiksem kui naaberaladel Lätis, Leedus ja Valgevenes ning läbilõigete ehituski märksa lihtsam. Põhja- ja Kesk-Eesti ordoviitsiumi ja siluri karbonaatkivimite avamusalal on pinnakatte paksus enamasti alla 5 m, paepealsetel ehk alvaritel aga puudub kohati täiesti (joon. 11). Ka Lõuna-Eesti tasandikel on pinnakatet harva üle 10 m (joon. 12). Suurim on see Haanja ja Otepää kuhjelistel saarkõrgustikel (kohati üle 100 m) ja vanades mattunud orgudes (Abja orus kuni 207 m). Meie valdavad kvaternaarisetted pärinevad Pleistoseenist ehk jääajast. Holotseeni ehk jääaja järgsed settid katavad eelmisi vaid katkendliku õhukese kihina.

Kuid seda piskutki, mis meile on antud, ei oska me rahuldavalt liigestada ning seni koostatud stratigraafilised skeemidki on tekitanud suuri vaidlusi. Õigemini, igal uurijal on meie väikeses vabariigis oma seisukoht ning ühes skeemis kõigile üheaegselt õigust anda on võimatu. Eks siis on neist paljudest õigustest peale jäänud kas kõige tugevama, visama või jonnakama õigus.

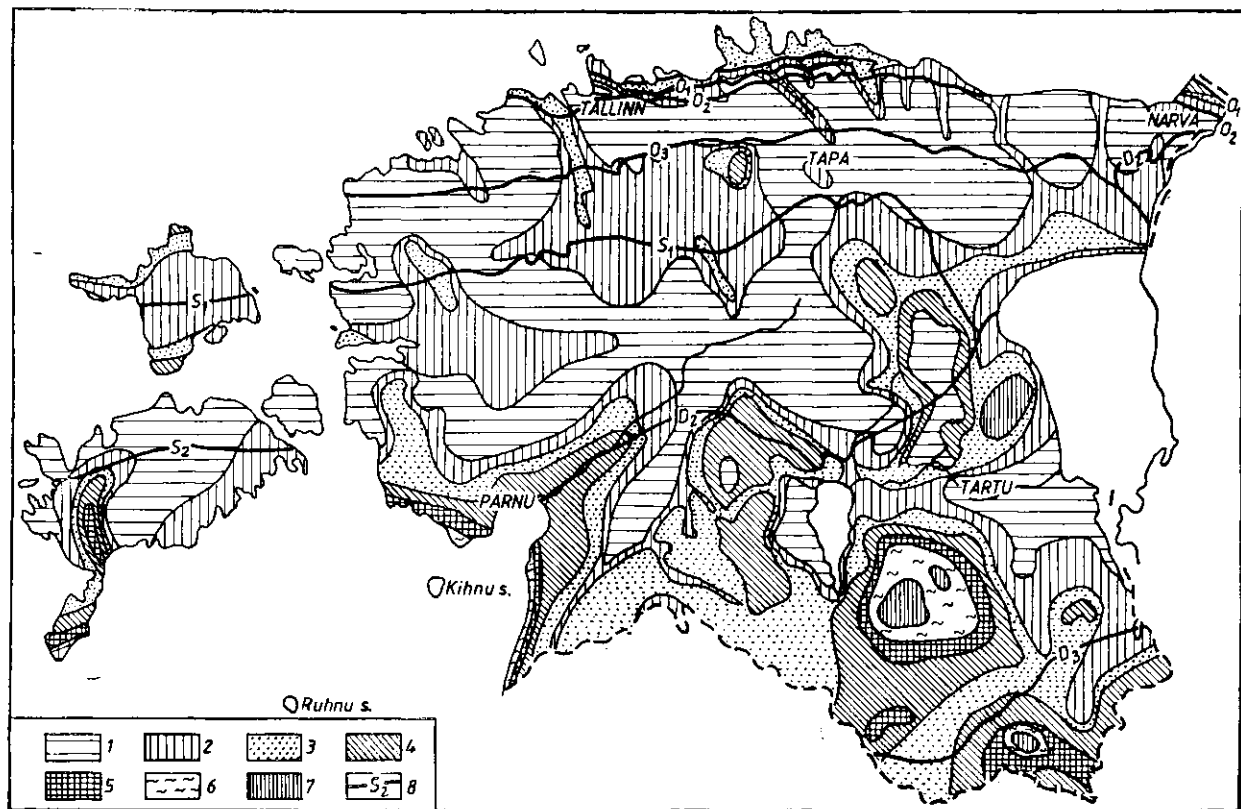
Setteid liigitatakse terasuuruse, ainelise koostise, tekkeloo ja vanuse alusel. Neist kaks esimest klassifikatsiooni on siin käsitlemiseks liiga spetsiifilised. Setete tekkeloolised ehk geneetilised klassifikatsioonid jaotatakse settid nende kujunemisel esikohal olnud välis- või sisegeoloogilise teguri alusel. Eristatakse liustikutekkelisi ehk glatsigeenseid (sealhulgas mandrijäätekkelisi ehk glatsiaalseid, liustikujõetekkelisi ehk fluvioglatsiaalseid ja jääjärvelisi ehk limnoglatsiaalseid), põhjaveetekkelisi, vooluveetekkelisi (sealhulgas jõelisi ehk alluviaalseid, uhtseteid ehk proluviaalseid ja nõlvaseteid ehk deluviaalseid), meretekkelisi ehk mariinseid, järvetekkelisi ehk limnilisi, tuuletekkelisi ehk eolseid, kirsmaatekkelisi ehk krüogeenseid, elutekkelisi ehk biogeenseid (sealhulgas taimetekkelisi ehk fütogeenseid, loomatekke-



Joonis 11. Paepealsetel ehk alvaritel on pinnakate väga õhuke või puudub hoopis. Tallinn, Lasnamäe. Anto Raukase foto.

lisi ehk zoogeenseid ja inimtekkelisi ehk tehnogeenseid), raskusjõutekkelisi ehk gravitatsioonilisi jt. settetüüpe.

Hoopis keerukaks on aga mitmel põhjusel osutunud setete vanuseline liigestamine. Nagu teiste maakoore kihtide vanuse hindamisel, peaks ka kvaternaargeoloogias esikohal olema stratigraafiline ja paleontoloogiline printsiip. Esimese kohaselt on kihide rikkumatu lasuvuse korral, kus kihid on horisontaalsed või peaaegu horisontaalsed, alumine ehk lamav kiht vanem kui ülemine ehk lasuv kiht. Liustiku purustava ja kuhjava toime tõttu näeme sellist pilti tegelikkuses harva. Enamasti on kihid läbi tambitud ja pea peale pööratud ning rändpangastena kaasa haaratud vanimad setted võivad paikneda otse maapinnal. Vanemate aegkondade puhul täiendatakse sel juhul stratigraafilist meetodit paleontoloogilisega. Viimane tugineb orgaanilise maailma evolutsioonilise arengu seaduspärasustele, mille kohaselt igale geoloogilisele ajalõigule vastab fauna ja flora teatud arengutase, ise-



Joonis 12. Pinnakatte paksus on Eestis muutlik, kuid enamasti on see väiksem kui 10 meetrit ja ainult mattunud orgudes ületab 200 meetri piiri. Pinnakatte paksus Eesti Geoloogia Valitsuse andmeil: 1 — alla 5, 2 — 5–10, 3 — 10–20, 4 — 20–40, 5 — 40–60, 6 — 60–80, 7 — üle 80 m; 8 — aluspõhja avamusalade piirid.

loomulik kindel liikide kompleks. Kvaternaari lühikese kestuse ning fauna ja floora ebasoodsate mattumis- ja säilimistingimuste tõttu ei saa ka seda printsiipi edukalt kasutada. On ju kogu kvaternaari ajastu setted ja pinnavormid tekkinud palju lühema ajavahemiku vältel, kui näiteks ordoviitsiumi või siluri ühe lademe kivimid, mistõttu taime- ja loomariühmade evolutsioonilised muutused on setete usaldusväärseks liigestamiseks liiga vähesed.

Seepärast on kvaternaari setete stratigraafilistes skeemides uurimistöö hõlbustamiseks esikohale seatud paleokliimaatiline printsiip, s. o. jääaegade ja jäävaheaegade vaheldumine. Kuid ka jäätumiste hulk kvaternaaris on seni veel lahtine. Üksmeelt pole uurijate seas isegi põhiliste terminite «jääaeg» ja «jäävaheaeg» mõistmises. Osa uurijaid loeb jäävaheajaks juba suhteliselt väheolulist kliimatingimuste paranemist, millega kaasnes mandrijää servalähedaste piirkondade jääst vabanemine. Sellises tõlgenduses on mandrijää tumiste hulk suur, ületades äärmuslikes stratigraafilistes skeemides paarikümne piiri.

Mandrijääst puutumata, nn. periglatsiaalsetel aladel töötavad uurijad, kes oma järeldustes toetuvad eeskätt väljasurnud imetajate evolutsiooni jälgimisele, jõuavad sageli teisesuunaliselt äärmuslike oletusteni, tunnistades kvaternaaris vaid üht jäätumist (V. Gromov) või eitades neid üldse (J. Pidoplitško). Analüüsides ühe või teise uurija skeemis peituvaid tugevaid ja nõrku külgi ning lugedes jäävaheajaks praegusest soodsamaid kliimatingimusi, võib väita, et tõenäoliselt on jäätumisi Pleistotseenis olnud kolm kuni kuus. Kuna kvaternaari praeguse uurituse tasemel ei ole võimalik kõhkluseta nimetada jäätumiste kindlat arvu, on erinevatel seisukohtadel olevate uurijate koostatud kollektiivsed skeemid küllalt paindlikud, võimaldades vajaduse korral kompromisslahendusena väiksemate jäätumiste ja jäävaheaegade ühendamist. Selline on ka Eesti kohalik stratigraafiline skeem (tabel 2), kus vastavalt uurija veendumusele võib jäätumiste ja jäävaheaegade moodustistena vaadelda kas kihistuid või alamkihistuid.

Alles hiljuti arvati, et meil esineb vaid kahe viimase mandrijää tumise ja neid eraldava jäävaheaja setteid. Eesti maa-alal plaanipärane geoloogiline kaardistamine tõi sellesse kujutlusse tõsiseid muutusi. On selgunud, et meil leidub isegi vanimate Pleistotseeni jäätumiste setteid. Tõsi küll, harva, sest iga uus liustik hävitas varasemad setted ja pinnavormid peaaegu täielikult. Vanu setteid leidub eeskätt vanade vagumuste piires ja peamiselt Lõuna-Eestis, kus aluspõhi oli rohkem liigestatud, mandrijää kuhjav tegevus ulatuslikum ja tingimused selliste setete säilimiseks soodsamad. Vanemaid setteid võiks esineda ka paekalda esisel alal, kuid seda on veel suhteliselt halvasti uuritud.

Eesti pinnakatte vanuseline liigestus

Lade- kond	Lades- tu	Abijao- tused	Ulem- lade	Lade	Vöö	Indeks	Vanus (tuh. a.)	Esinemine Eestis	Kihistu	Alam- kihistu	
Uusladekond (K ₂)	Kvaternäär (Q)	Pleistotseen	Holotseen			Ulem-	Q _{IV} ³	10	Linneamere ja mandrisetted	Balti	Ulembalti
						Kesk-	Q _{IV} ²		Mastogloia-, Litoriina-, Linneamere ja mandrisetted		Keskalti
						Alam-	Q _{IV} ¹		Joldia- ja Ehheneismere, Antsülusjärve ja mandrisetted		Alambalti
			Valdai ehk Vürmi	Ulemvaldai		Q _{III} ¹	25	Hall (Põhja-Eesti) ja punakaspruun (Lõuna-Eesti) moreen, liustikujõe ja jääpaisjärve setted	Järva	Ulemjärva	
				Keskvaldai		Q _{III} ³		Sakala, Vääna-Jõesuu, Poedu ja Karuküla(?) moreenidevahelised setted		Keskjärva	
				Alamvaldai		Q _{III} ²		Hall moreen Põhja-Eestis, violetjashall moreen Otepää ja Haanja kõrgustikel		Alamjärva	
			Mikulino			Q _{III} ¹	70	Rõngu moreenidevahelised sooja järvesetted, Prangli moreenidevahelised meresetted	Prangli		
			Keskvene ehk Rissi	Moskva		Q _{II} ⁴	110	Pruun moreen Põhja-Eestis, hall moreen Otepää ja Haanja kõrgustikel	Ugandi	Ulemugandi	
				Odintsovo		Q _{II} ³	130	Moreenidevahelised setted Valgutas		Keskugandi	
		Dnepri		Q _{II} ²	180	Pruun moreen Põhja- ja Lõuna-Eestis	Alamugandi				

Tabel 2 järg

Uusladekond (K _z)		Lade- kond
Kvaternaar (Q)		Lades- tu
Eopleis- totseen	Pleistotseen	Abijao- tused
	Valgevene ehk Mindeli	Ülem- lade
	Lihvini	Lade
		Vöö
		Indeks
		Vanus (tuh. a.)
	Q ₁ ¹	Esinemine Eestis
240	380	Kihistu
	550	Alam- kihistu
	700	
	Karuküla soo- ja järvesetted	Karuküla
	Hall kultias moreen Kesk- ja Lõuna-Eestis	Ülem- sangaste
	Vastavaid setteid pole Eestis seni kindlaks tehtud	Sangaste

*Kirjapandud mõtetest mõnu
tundes võib teinekord teada saada
seda, mida sa üldse ei teadnud,
või veel hullem — sul polnud
säherduse asja olemasolust aimugi.*

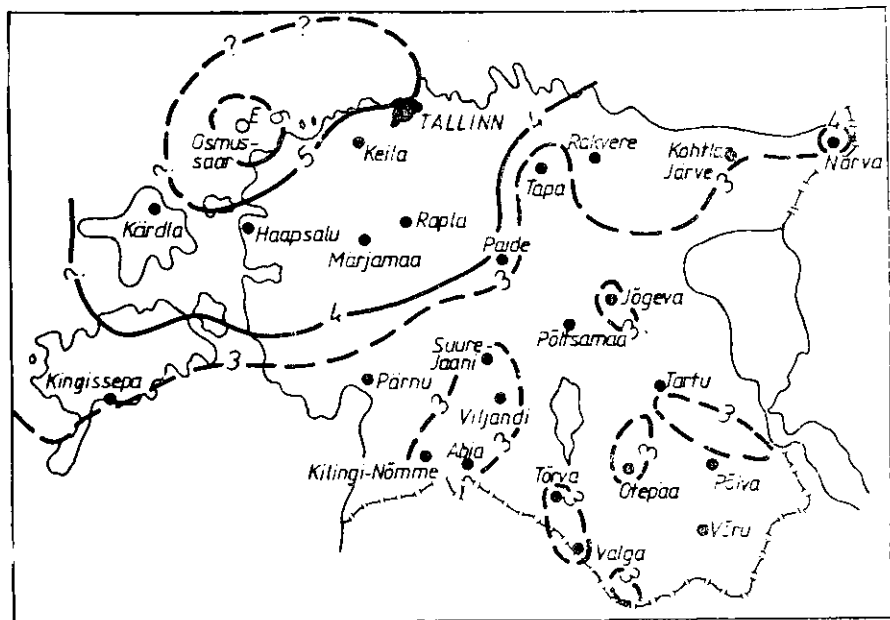
Stasys Kašauskas

Rahutu maapind

Maailmas toimub igas minutis keskmiselt kaks maavärinat, aastas kokku üle miljoni, kuid õnneks on enamik neist ainult eriparatuuri abil märgatav. Maavärinate pooldest oli eriti silmatorkav 1976. aasta. Kaheteist kuu vältel leidis aset 162 tugevat maavärinat, sealhulgas 12 purustavat ja 2 ülivõimsat. Juulikuu oli katastroofiline Põhja-Hiina elanikele, loodusõnnetus nõudis 700 000 inimest. Meilegi andis just see aasta märku, et ka Eestis pole maapõu veel rahunenud. 25. oktoobri ennelõunal kell 11^h39'46" toimunud allmaatõukeid olid jälgitavad kogu Eestis (joon. 13) ning nende tunnistajateks tuhanded inimesed. Kõige rohkem kannatas maavärina käes Osmussaar, kus värin oli sedavõrd tugev, et põhjustas saare kirderanna järsul pangal ulatuslikke lausvaringuid, saare keskel asetseva kivihoone seinaga rebis allmaatõuge räästast maapinnani ulatuva praod. Hirm sundis inimesi hoonetest pagema, sest need kõikusid ja ragisesid pikka aega. Oeldu lubab tõuke tugevuseks maavärina keskmises hinnata 6 palli Euroopas kasutatava 12-pallise skaala järgi. See määrang kinnitab, et olime arvatavasti Baltimaade ühe tugevama allmaatõuke tunnistajad. Tõsi, Lõuna- ja Ida-Eesti elanikud seda peaaegu ei märganudki, kuid Kesk-Eestis tundsid tõukeid üsna paljud. Tallinnas tajusid kõrgematel korrustel töötanud inimesed raputamist eriti selgelt. Võnkuma hakkasid laelambid ja klirisesid aknaklaasid. Nõva jäägri elumajas libisenud köögis olnud pesumasin ligemale meetri võrra seinast eemale, laes purunenud kolmeharuline armatuur ja köögikapi riiulil langenud küljeli veiniklaasid.

Peatõukele järgnesid arvukad järeltõukeid, neist kõige tugevamad umbes 10 minutit ja pool tundi hiljem. Järeltõukeid registreeriti tundlike seismomeetritega veel novembrikuuski.

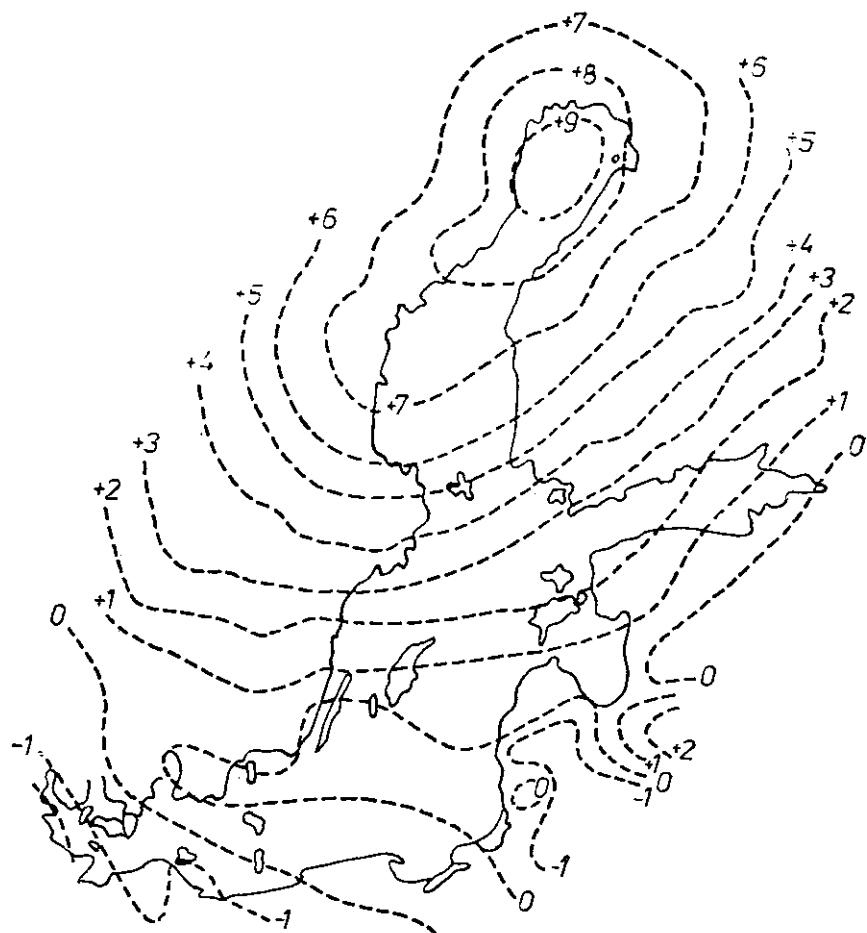
Ehkki Eesti asetseb maakera juba sadu miljoneid aastaid tagasi jäigastunud piirkonnas, on ajalooürikud siingi maavärinaist korduvalt pajatanud. Näiteks kõnelevad kirjalikud allikad 1. veeb-



Joonis 13. 1976. a. 25. oktoobril toimunud Osmussaare maavärina isoseistide (samavärinajoonte) kaart (Einar Klaamanni andmetel). E-tähega on tähistatud oletatav episenter.

ruari 1670. a. maavärinast, mida tunti mitmel pool Pärnu lähikonnas. Sama aasta märtsikuus rebinud aga Liivi- ning Soome maal maavärin lõhed külmunud maapinda.

Hoopis rohkem on andmeid möödunud sajandist ja käesoleva sajandi esimestest aastakümnetest. Maapind on korduvalt tugevasti vappunud Loode-Eestis Haapsalu, Vormsi ja Noarootsi kandis. Osmussaare maavärinale lähedastes piirkondades on maavärinaid täheldatud näiteks 1858., 1869., 1877 ja 1904. aastal. Eriti tugevad tõuked ja kõvad kärgatused esinenud 1877. a. Kuid ebaõige oleks meie maavärinaid seostada ainult Loode-Eestiga. 28. jaanuaril 1881. a. oli tugev maavärin näiteks Narva ümbruses. Tollaste ajalehtede andmetel langenud mitmete mõisate (Auvere, Laagna, Repniku) lagedelt ning seintelt krohvi ja Auvere jaama hoones purunenud isegi mõned aknaruudud. Kokku registreeriti Eestis ajavahemikul 1616—1936 30 maavärinat. Kõige viimane tugev maapinna vappumine leidis Eestis aset 8. aprillil 1987. a. ja see sai tuntuks Võrtsjärve maavärinana. Maavärina tugevuseks hinnati 4 palli.



Joonis 14. Tänapäeval on maakoore kerkimine kõige kiirem Botnia lahe põhjaosas (9 mm/a). Kiiresti kerkib ka Eestimaa loodeosa. Läänemere lõunapoolsed alad aga vajuvad (Eronen, 1983).

Pikka aega peeti Eesti maavärinaid langusvärinateks, neid seostati lubjakivises aluspõhjas olevate suurte karstikoobaste sisselangemisega. Selline seletus pole veenev, sest meil esinevad karstikoopad on nii väikesed, et nende sissevarisemine ei saa suures maa-alal tajutav olla. Liiatigi peaksid selliste varisemiste

korral maapinnale kujunema langatuslehtrid või vähemalt suured praod.

Nüüdisandmete foonil on selge, et meilgi on tegemist tektooniliste maavärinatega, mis Skandinaaviamaades, eriti Norras, on üsna tavalised. Neid põhjustavad maakoore rahutud sügavamad osad. Omapoolset mõju avaldab ka maakoore nüüdiskerkimine, mis on teatavasti ebaühtlase kiirusega (joon. 14) ja võib kohati põhjustada maakoore lõhenemist erineva suurusega plok-kideks. Just selliste plokkide kokkupuutealadel võivadki aja jooksul kuhjunud pinged nõrkade maavärinatena laheneda. On üsna ootuspärane, et Soome lahe suudmeala on praegu mõneti suurema pinge all, sest just seal ristuvad erisuunalised tektoonilised murranguvööndid, mis arvatavasti ongi andnud aluse Loode-Eesti senistele ja küllap ka tulevastele maavärinatele.

Loomulikult on meil võimalik tajuda ka üsna kaugete maavärinate kaja. Näiteks 1977. a. 5. märtsil umbes kell 22.30 tundsid maa võnkumist paljud meie vabariigi elanikud. Kõrgemates majades löid kõikuma laearmatuurid ja vabisesid rippuvad esemed. Põhjuseks oli 9-palline purustav maavärin Rumeenias, mis Eestis registreeriti 3—5-minutilise hilinemisega.

Kindlasti huvitab paljusid, kui sügaval võis olla viimase Osmussaare maavärina kolle ehk hüpotsenter. Isoleistide kaardi põhjal 15 ± 5 km sügavuses.

Tõde on üle kõige, seepärast kuulutagem avalikult: kui meil ei lubata nihutada mandreid mõne näruse sentimeetri võrra aastas, siis hakkame me neid liigutama mitu meetrit päevas.

A. Suhhanov

Üks paljude vastu

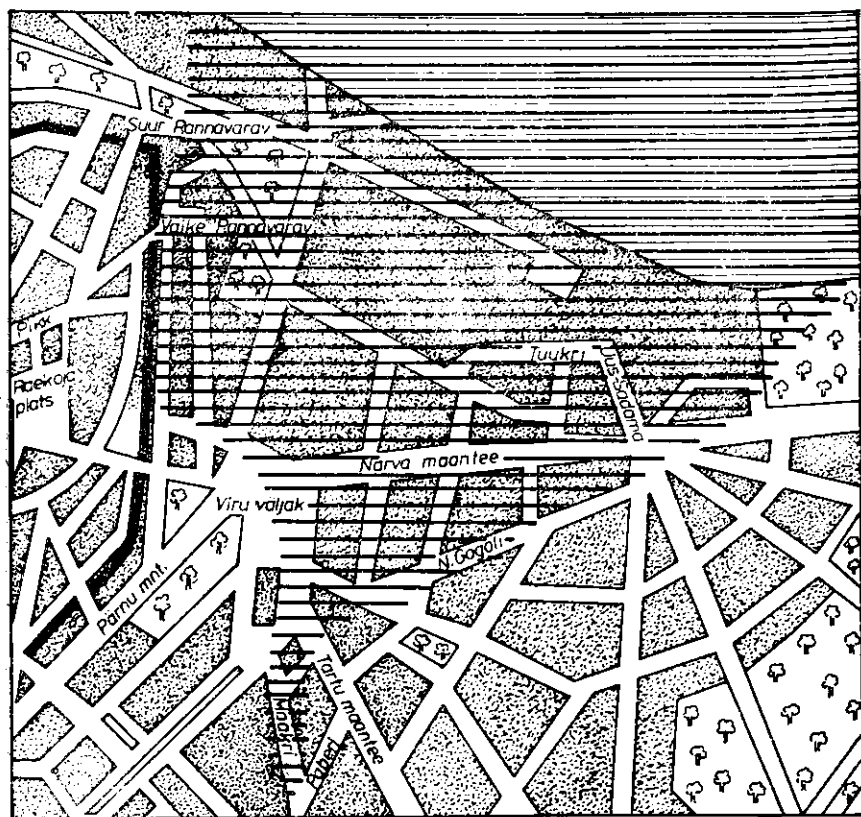
Maapinda närivad paljud välisjõud. Oma osa võtavad tuul, jõed, murdained ja liustikujää. Neile vastu seisab ainult maakoore all pulbitsev energia, mis püüab koort kergitada, seda meretasemest kõrgemal hoida. Teadlased oletavad, et kui mägede kasv lakkaks, tasanduks maapind juba miljoni aasta jooksul.

Maakoor pole kunagi tasakaaluseisundis. Selle ühed piirkonnad kerkivad, teised vajuvad. Hästi tuntud vajuv ala on Euroopas Madalmaad, mille territooriumist umbes 40% asub allpool merepinda. Vajumine amplituudiga 2,5 cm sajandis on seal kestnud üle aastatuhande. Mere pealetungi tõkestamiseks on sealsed elanikud ehitanud üle 1600 km pikkuse tammi, mille kõrgus kohati ulatub 18 meetrini. Skandinaaviamaad ja Eesti seevastu on kerkiv ala (joon. 14). Soome mandriosa on viimase 50 aastaga kasvanud 1100 km² ning meiegi maa-ala on kahtlemata suurem, kui näitavad teatmeteosed.

Vastavalt maakoores toimivate jõudude suunale eristatakse kõikuv-, kurrutus- ja murranguliikumisi. Esimesed toimivad valdavalt vertikaalsuunas, teised horisontaalsuunas, kolmandas osalevad aga mõlemasuunalised jõud.

Usna hõlpus on hinnata maaväriinate või vulkaanipursete tekitatud kahju, kuid ka maakoore aeglaste liikumiste põhjustatud kahjud võivad olla korvamatud. Tänapäevaks on saadud otseseid tunnistusi mandrite triivi kohta. Maa tehiskaaslaste abil tehtud mõõdistamised kinnitavad, et Põhja-Ameerika eemaldub Euroopast kiirusega pisut üle 2 cm aastas, Austraalia läheneb aga Havai saartele kiirusega üle 6 cm aastas. Väike Kiuroku saar Jaapanis on viimase 10 aastaga nihkunud koguni 115 m. Kujutage nüüd ette astronoomide täpsusvaatlusi, kui nende observatooriumide geograafiline pikkus ja laius selliselt muutub!

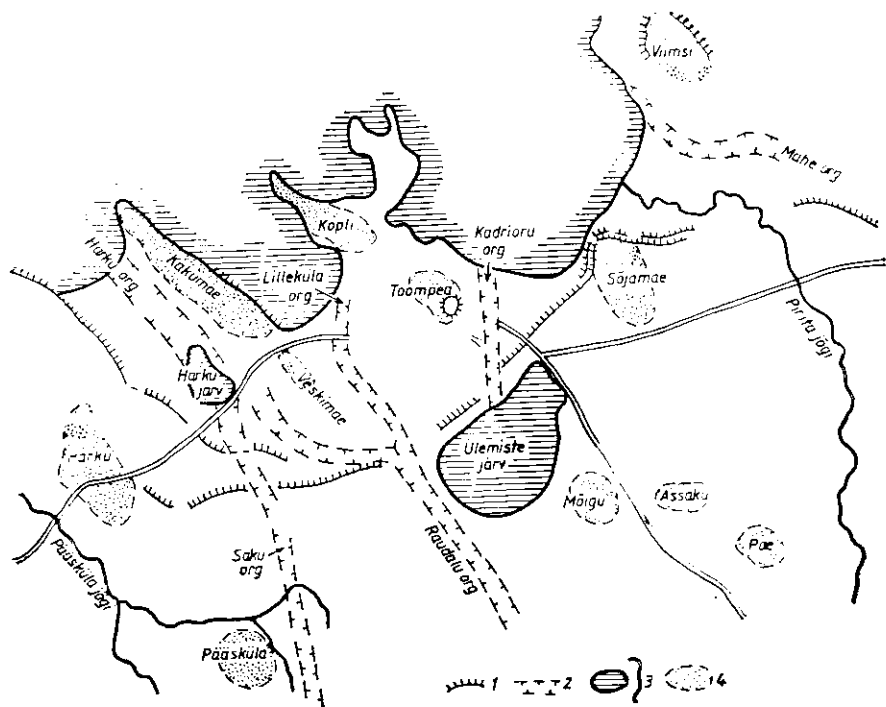
Veelgi hullem on lugu maakoore vertikaalliikumistega, sest nende tõttu kaotab geodeetiline võrk oma usaldatavuse ja seda



Joonis 15. 13. sajandil lainetas meri (viirutatud ala) Tallinnas Rannavärava ees ja ulatus praeguse «Viru» hotellini. (Sulev Künnapuu rekonstruktsioon.)

ei saa insenerlikeks uurimisteks enne vastavate paranduste tegemist enam kasutada.

Olukorra keerukust süvendab setete tihenemine. Me oleme harjunud teadmisega, et Põhja-Eesti, Tallinn kaasa arvatud, kerib. 13. sajandil lainetas meri Rannavärava ees ja ulatus isegi praeguse «Viru» hotellini (joon. 15). Silmas pidades maakoore nüüdiskerkimise suurust Põhja-Eestis (kuni 3 mm/a) ja selle tõenäolisi suurusi möödunud sajanditel, leidis Sulev Künnapuu, et 13. sajandi algul oli maapind Tallinnas praegusega võrreldes 2,4 m madalamal. Tolleaegne rannajoon kulges oletatavasti mööda Uut tänavat Vana-Viru tänavani, kust pöördus kagusse, ületas Viru väljaku ja Lomonossovi tänava Laikmaa tänava lähe-



Joonis 16. Selliselt kulgevad vanad setetega täitunud jääajaeelsed orud Tallinnas (Sulev Künnapuu, Elvi Tavasti ja autori andmetel): 1 — klindias tangud, 2 — vanad orud, 3 — järved ja jõed, 4 — vana reljeefi kõrgendikud.

dalt. Vee sügavus «Viru» hotelli kohal ulatus 1,5 meetrini, Mere puiestee ja Uue tänava vahel aga 2,2 meetrini. Kui lugu nii oli, rajati all-linna kaitsemüür Suurest Rannaväravast lõuna suunas kuni Müürivahe tänavani vahetult mere kaldale, mis on ka üsna loomulik. Tallinna sadam aga võis S. Künnapuu arvates 13. sajandi algul paikneda Tartu maantee ja Anveldi tänava nurgal, kungise Härjapea jõe suudmes.

Praegu näeme hoopis vastupidist protsessi: täpsuslootimistel on selgunud, et Tallinn paljudes kohtades hoopis vajub. Ajavahe- mikul 1911—1970 on vajumine mõnes paigas ulatunud kuni 60 cm. Linna keskosa vajus aastail 1950—1965 kuni 40 cm, praegu küll ainult 3 mm aastas, kuid siiski jätkuvalt. Milles on põhjus?

Kvaternaari ajastule eelnenud sadade miljonite aastate pikkuse kulutusperioodi käigus lõikus Tallinna aluspõhja neli sügavat ürgorgu, mis praeguseks on täitunud mitmesuguste liustiku- ja

meresetetega. Kõige sügavam orgudest kulgeb Õismäe tagant üle Harku järve ja suubub Kakumäe lahte (joon. 16). Selle põhi asub kuni 145 m allpool praegust merepinda. Teine org algab Ulemiste järve läänekaldalt ja lõpeb Kopli lahes. Kolmas, mis jõuab Tallinna lahte, läbib kiiresti vajuva linnasüdame. Neljas org asub Mähe ja Merivälja piirkonnas. Nendegi orgude põhi jääb merepinnast 80—130 m allapoole.

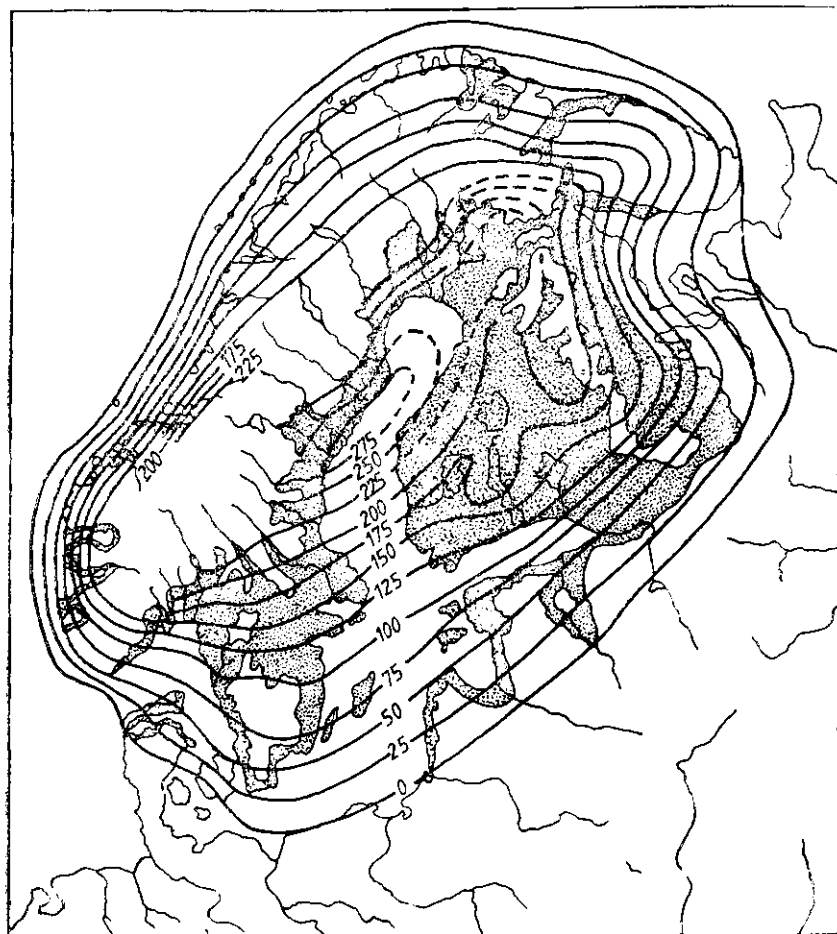
Üldjuhul on orud täitunud nõrkade, ehitiste all kergesti kokkusurutavate kvaternaarisetetega, mille tihenemist hõlbustab orgudes voolava põhjavee liigkasutamine. Geoloogiliselt suhteliselt noores pinnases ulatub poorsus kohati kuni 70 %-ni. Selliste veega täidetud pooride kokkusurutavus ületab 20—50 korda tavalise mereliiva kokkusurutavuse ning vajumine ehitiste all on paratamatu. Isegi tavalise 5-korruselise maja vajumine võib ulatuda kümnetesse sentimeetritesse, hoone aluse tihenemine aga kesta aastasadu. Harilikult see protsess üsna pea aeglustub: uus hoone vajub esimese aastaga umbes niisama palju kui järgneva 10 ning edasise 100 aasta jooksul.

Linnatranspordist, rammimisest jms. tingitud vibratsioon suurendab omakorda pinnase kokkusurutavust. Küllap oleme kõik täheldanud hoonete võpatusi raskete sõidukite möödumisel. Pinnase struktuurisidemeid lõhkuv vibratsioon, löökoormused ning põhjavee survealang on peapõhjus, miks maapind vajub ka seal, kuhu hoonete raskus ei ulatu. Kõrvale ei saa jätta ka nõrga pinnase tihenemist omaenda raskuse ja kattekihtide toimele.

Ehitusaluse pinnase ebaühtlase vajumise tõttu tekivad maja-seintesse praod ja kui inimene appi ei tõtta, võivad hooned isegi külili vajuda. Oeldust nähtub, et üsnagi lihtsad geoloogilised protsessid võivad kohati tohutult võimsate maasiseste jõududega edukalt rinda pista ja neid oma amplituudilt koguni ületada.

Pöördugem nüüd aga tagasi maasiseste protsesside ja Eesti maa-ala kerke juurde. Millised jõud siin maapinda kergitavad? Selle kohta on avaldatud palju vastakaid arvamusi, mille usaldatavus jääb mõnikord maha isegi Puraviku Peetri väidetest, et mägesid paigalt nihutav jõud olevat armastus, ja just seetõttu kandunud kõik vähegi kõrgemad mäed Lõuna-Euroopasse, kus armastuse tormid alati on möllanud vägevamalt kui meie tasasel Eestimaal.

Üldlevinud arvamuse kohaselt loetakse maapinna tõusu põhjuseks jääaja mõju, mis rikkus nii Fennoskandias kui ka Eestis maakoore isostaatilise tasakaalu. Jääkoorma all maapind vajus, pärast jääaja lõppu hakkas taas kerkima (joon. 17). Selline kompensatsiooniline kerkimine oli esialgu väga kiire, hiljem aeglustus. Näiteks pärast viimase mandrijää taandumist Kesk-Eestist (umbes 12050 a. tagasi) kuni Joldiamere kujunemiseni (umbes 9600 a.



Joonis 17. Jääajajärgne maapinna tõus ulatub sadadesse meetritesse ja jätkub veel praegugi. Omaaegse jäätumiskeskme ümber joonistuvad kontsentrilised ringid näitavad summaarset kerget meetrites, punkteeritud ala kujutab merest kerkinud maad. (G. Želnini järgi.)

tagasi), kerkis maakoos Loode-Eestis 65 m võrra, järgneva 9600 aasta jooksul ainult 50 m. Tallinna lähedal oli kerkimise keskmine kiirus neil aegadel vastavalt 26,5 ja 4,2 mm aastas. Saaremaa lääneosa kerkib idaosast praegu mõnevõrra kiiremini. Seegi võib olla põhjustatud mandrijää survest, sest enne jää lõplikku sulamist umbes 11200 a. tagasi tungis aluspõhjalise Kesk-Saare-

maa kõrgendikuni loodest ja läänest veelkordselt jääkeel, mis saare idaossa enam ei ulatunud. Arvutuste kohaselt peaks Botnia lahe ümbrus viimase mandrijää poolt rikutud tasakaalu saavutamiseks kerkima veel 180 m, Helsinki ja Tallinn aga ligikaudu 40 m.

Eespoolöeldu tõepärasust tunnistades peame siiski lisama, et maakera paljudel kerkivatel aladel pole kunagi jää koormust olnud ning maakoore tõus ja vajumine on seal täies ulatuses tingitud maakoore alustest või maakoores toimuvatest protsessidest. Vaevalt oleks loogiline Eestiski neid protsesse eitada. Kahjuks ei oska me nn. glatsioisostaatilist kerkimist tektoonilisest kerkest eristada.

Maa süvaehitust ei saa me vahetult jälgida. Ulatub ju maakoore paksus Eesti NSV kohalgi oma 36 kilomeetrini. Seepärast tuleb appi võtta geofüüsikalised meetodid, mille usaldusväärsus pole aga suur. Gravimeetriliste uuringute ja seismiliste lainete levimise põhjal võib järeldada, et mandrite all umbes 100 km sügavusel ja ookeanide all umbes 60 km sügavusel on voolava aine kiht, astenosfäär. Võimalik on, et see koosneb meile tuntud kivimitest ja mineraalidest, mis kõrge rõhu ja temperatuuri tõttu on muutunud voolavaks. Aine muundumist saadab alati ruumala ja tiheduse muutus. Tiheduse suurenemisel ruumala väheneb ja maakoore vajub, tiheduse vähenemisel ruumala aga kasvab ja maakoore kerkib.

Ja ka on võimalik, et väiksemad tektoonilised liikumised ei vajagi astenosfääri abi. Neid võib põhjustada ka sette- ja moondekivimite graniidistumine nii umbes 10—20 km sügavuses. Kõrgel rõhul ja temperatuuril liikuv magma moodustab teiste kivimkehade vahele tasapinnalisi suhteliselt ebapüsivaid läätsekesi, mis liiguvad hõlpsasti ühest kohast teise ja põhjustavad kõrgemal kord tõusu, kord vajumist. Loomulikult on see probleemi väga lihtsustatud käsitus, kuid enda õigustamiseks võin lisada, et ammandavat seletust ei oska keegi anda.

Igivanadest aegadest alates räägitakse Maast kui elusolendist. Ja tõesti, Maa «hingab». See hingus ei avaldu alati tulemägede pursetena, vaid ka vaevaltmärgatavate liikumistena. Kes poleks kuulnud võimsatest tõusu- ja mõõnalainetest, mis rulluvad ookeanirannale? Neid põhjustab Kuu gravitatsiooniväli. Tõusud ja mõõnad toimuvad astenosfääri vahendusel ka tahkes maakoores. Näiteks Moskvast kerkib maapind tõusu- ja mõõnalaine toimel kaks korda ööpäevas kuni poole meetri võrra, Tallinnas aga keskmiselt 20 cm, maksimaalselt 35 cm. Tõusu- ja mõõnalainetuse kõrval toimub mõningane vertikaalne pinnakihtide liikumine ka maapinna ebaühtlasest soojenemisest sõltuvalt.

Täpsed andmed maakoore liikumistest aitavad valida sobivaid

asukohti küladele ja linnadele, sadamatele, veehoidlatele ja hüdroelektrijaamadele. Saadud andmed on olulised ka maavarade otsimisel, kasvõi Eestiski. Geofüüsikalised uuringud on selgitanud, et Lõuna-Soomes ja Põhja-Eestis on maakoore killustunud rohketeks plokkideks, mille vahelistesse rikketsoonidesse on tunginud teistlaadseid kivimeid, võimalik, et kasulikke komponente sisaldavaid.

Eesti rannikuvööndist kogunenud andmed kõnelevad peamiselt maapinna kerkimisest. Tallinna kohta toodud andmetele võib lisada, et Saaremaal paiknes praegu merest kaugel asetseval Tornimäel muistsete saarlaste sõjasadam ja ka Maasi ordulossi külje alla sõitsid veel 14. sajandi keskpaiku suured sõjalaevad.

Kuid kerkimine haarab vaid osa Eestist, meie koduvabariigi kaguosa hoopis vajub ja see toob kaasa mitmeid muresid. Kui Looe-Eestis maakoore kerkimise tulemusena põhja- ja pinnavee äravoolutingimused pidevalt paranevad, siis meie vabariigi kaguosas kipuvad tasandikulistel aladel head heina- ja põllumaad soostuma ning Võrtsjärve ja Peipsi veed valguvad lõuna poole senistele kuivadele aladele. Pidevalt on vähenenud Piirissaare pindala. Kui 1796. a. oli saar 20,08 ja 1834. a. veel 10,64 km² suur, siis praegu on tema pindala kõigest 7,39 km². Veelgi halvemini on läinud mitmel teisel saarel. Aastasadu tagasi oli Peipsi idakalda lähedal ligikaudu Piirissaare suurune Ozolitsa saar, millel asetses püha Mihhaili kirik. Ürikutest on teada, et kiriku hävitasid saksa ordurüütlid 1459. a. Praegu on kiriku alusmüüri varemed 1,8 m sügavusel järve põhjas. Saarest endast on säilinud vaid riismed, kaks pisisaarekest Leznitsa ja Stanok, mis peagi jäävad vee alla. Mitmed Peipsi idakalda külad (Tšudskaja Rudnitsa jt.) on aja jooksul pidanud järvevee pealetungi tõttu oma asukohta vahetama. Loodusjõududele on raske vastu seista. Et järvenõo põhjaosa kerkib suhteliselt kiiresti, siis valgub järve vesi järk-järgult ning peatumatult lõuna suunas ja ujutab üle üha uusi alasid. Viimase 8500 a. jooksul on veetase Värska lahes tõusnud ligikaudu 10 m ja tõus jätkub. Raskeneb ka väljavool Narva jõe kaudu, mis juba lähitulevikus vajab tugevat süvendamist.

Maapinna taseme muutusi võib esile kutsuda ka inimese majanduslik tegevus. Näiteks kasvab suurte veehoidlate rajamisel hoidla piirides veemassi võrra koormus maakoorele, mis seetõttu vajub. On isegi andmeid, et veehoidlate rajamine võib põhjustada maavärinaid. Maapinna vajumist tuleb arvestada maa-aluste kaevanduste piirkonnas. Kirde-Eestis maakoore rajatud tühemike arvel tekivad põlevkivikaevanduste kohal veega täidetud ulatuslikud langatusalad, mida on raske või isegi võimatu rekultiveerida.

*Ainult jää,
ainult jää,
ainult jää.
Tema kriginat kuuled,
tema vaelevust näed.*

Juhan Smuul

Liustike võimuses

Kvaternaari ajastut nimetatakse mõnikord piltlikult ka jää-ajaks. Mitme kilomeetri paksused jäämassid katsid sel ajal korduvalt suuri maa-alasid (joon. 18), eriti ulatuslikult põhjapoolkeral. Nagu hiiglaslik buldooser haaras liustik kaasa kõik, mida teel kohtas, jättes selle hiljem maha uute, liustikutekkeliste pinnavormide ning setetena.

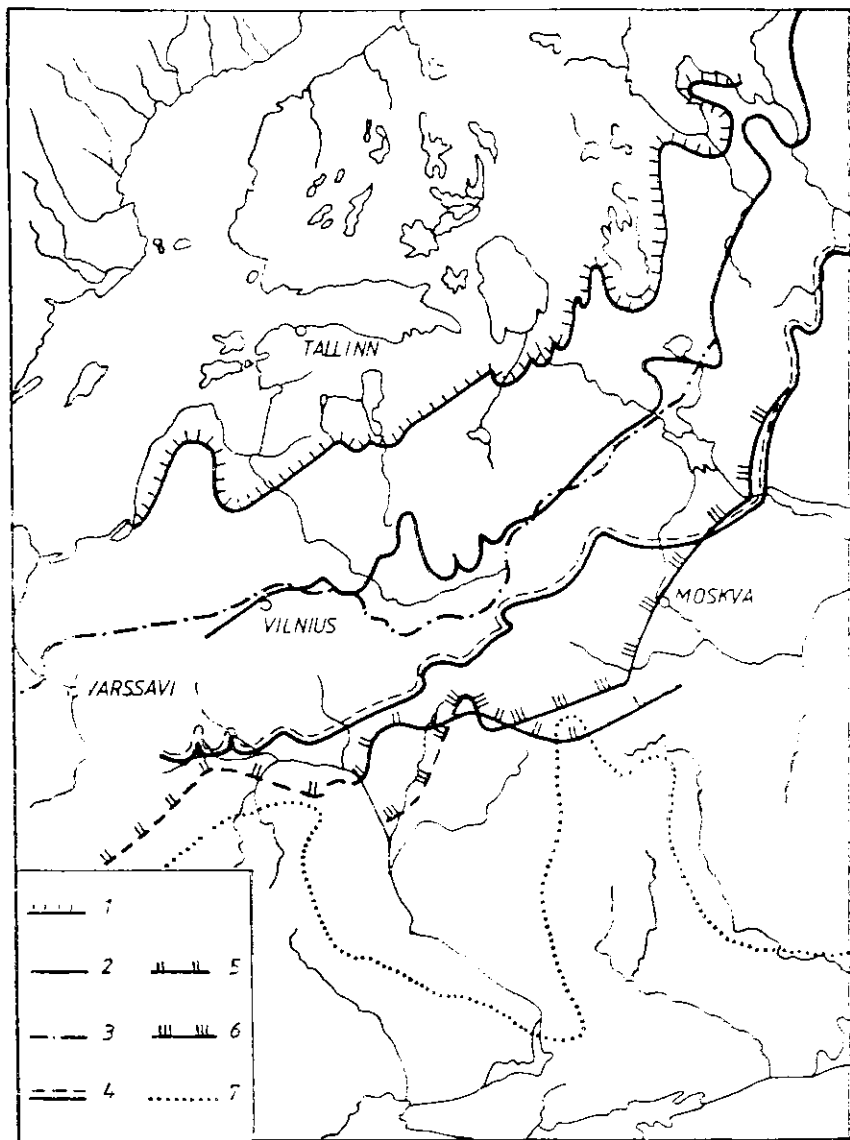
Jääaegade tekkimist on püütud mitmeti seletada: neid on seostatud Päikese kiirguse intensiivsuse ja Maa pooluste asukoha muutumisega, mägede kiire kerkimisega, Maa sattumisega kosmilise tolmu pilvedesse, süsihappegaasi hulga muutumisega atmosfääris ja paljude teiste loodusnähtustega. Kõigiti rahuldav ja üldtunnustatud vastus seni puudub.

Eriti populaarne on tänapäeva teadlaste seas nn. süsihappegaasiteooria. Selle järgi mõjustab atmosfääris oleva süsihappegaasi hulk Maa kliimat väga oluliselt.

Päikesekiirte mõjul kiirgab maapind soojust, millest valdav osa hajub maailmaruumi. Õhus leiduva süsihappegaasi molekulid neelavad soojuskiirgust eeskätt selles infrapunase spektri vahemikus, milles Maa kiirgab välja põhilise osa oma soojusenergiast. Neeldunud energia arvel atmosfäär soojeneb. Samal ajal ei kujuta õhus leiduv süsihappegaas mingit takistust Päikeselt saadavale valguskiirgusele.

Vaatamata süsihappegaasi üsna väikesele kogusele atmosfääris ($\sim 0,03\%$) tingiks tema hulga vähenemine poole võrra keskmise temperatuuri alanemise Maa pinnal $3,8^\circ$ võrra. Sellest piisaks, et algaks jääkatte paksenemine polaaraladel ning mägedes, mis omakorda põhjustab veelgi suurema jahenemise, sest jää ja lumi peegeldavad enamiku päikesekiirtest maailmaruumi tagasi. Õhus hajusalt esinev veeaur koondub jahedas kliimas tihedateks pilvedeks, mis omakorda takistavad päikesekiirte tungimist maapinnani. Nii võibki tekkida jääaeg.

Süsihappegaasi hulk õhus sõltub vulkaanilise tegevuse intensiivsusest, taimestiku arengust ja liigilisest koostisest, suurte mäe-



Joonis 18. Erinevate jäätumiste ulatus oli erinev, mõnda joonisel näidatud aga võib-olla ei olnudki. 1 — Karjala, 2 — Ostaškovi, 3 — Valdai, 4 — Kalinini, 5 — Okaa, 6 — Moskva ja 7 — Dnepri jäätumise maksimaalne levikupiir (toetudes Nõukogude Liidu juhtivate kvaternaargeoloogide I. Gerassimovi, K. Markovi, S. Jakovlevi, N. Tšebotarjova jt. uuringutele).

massiivide murenemisest, organismide kõdunemisest, metsatulekahjustest, tänapäeval ka tehnika ja tööstuse arengust. Palju süsihappegaasi on varjul ookeanides süsihappesoolade näol, mille abil ookean reguleerib atmosfääri süsihappegaasisaldust. Mandrijää, mis moodustub merede ja ookeanide veest, põhjustab meredes süsihappegaasi kontsentratsiooni tõusu ja gaasi tungimise atmosfääri. Süsihappegaasi hulga suurenemine õhus tingib omakorda temperatuuri tõusu ja mandrijää sulamise. Selline soojenemise ja jähnenemise tsükliline vaheldumine kestab, kuni ookeanide ja atmosfääri gaaside bilanss saavutab enam-vähem püsiva tasakaalu.

Tõe kriteerium on praktika, seepärast on teadlased püüdnud oma arvutusi siduda möödaniku hästi tuntud ja dateeritud sündmustega. Ühe jähnenemis-soojenemistsükli kestuseks on kvaternaaris saadud ligikaudu 50 000 aastat, mis langeb hästi kokku vaadeldava teooria arvutuslike andmetega.

Hea kokkulangevus on ka varasemate jäätumiste puhul, kuna needki olid pulseeriva iseloomuga, s. t. suhteliselt lühikese ajavahemiku jooksul vaheldusid korduvalt külma ja sooja kliima perioodid. Maakeral on olnud mitmeid jääaegu. Vanim on hilis-arhaikumis ligikaudu 2,7 miljardit aastat tagasi toimunud jäätumine Lõuna-Aafrikas. Võimsaid jäätumisi on esinenud ka varases proterosoikumis umbes 1550—1300 miljonit aastat tagasi (Põhja-Ameerikas, Lõuna-Aafrikas, Austraalias ja Aasias), hilisproterosoikumis umbes 650—550 miljonit aastat tagasi (Põhja- ja Lõuna-Ameerikas, Aafrikas, Austraalias ja Euroopas), hilisordoviitsiumis ja varasiluris umbes 400 miljonit aastat tagasi (Põhja- ja Lõuna-Ameerikas, Aafrikas ja Euraasias), hilisdevonis umbes 360 miljonit aastat tagasi (Lõuna-Ameerikas, Antarktikas ja Aafrikas), hiliskarbonis ning permis umbes 280 miljonit aastat tagasi (Lõuna-Ameerikas, Aafrikas, Austraalias, Aasias ja Antarktikas). Nagu kvaternaaris järgnes jäätumine väga soojale paleogeeni ajastule, nii eelnesid ka varasematele jäätumistele kestvad eriti sooja kliimaga perioodid.

Lugejaile on tõenäoliselt hästi teada ligikaudu 345 miljonit aastat tagasi alanud niiske ja soe karboni ehk kivisöe ajastu, mil elu kihas vees, maal ja ka õhus ning kogu ookeanidest kõrguv maapind oli kaetud lopsaka taimkattega. Platvormide äärealadel moodustunud rohketes madalmeredes ja sootasandikel arenesid tänapäeva mangroovitihnikuid ja lodumetsi meenutavad hiidsõnajalgade, koldade ja osjade džunglid. Miljonite aastate vältel täitusid sood kõdunevate tüvede, murdunud ja mahalangenud okste ning lehtedega, muutudes hävinud taimede kalmistuks. Nende metsade mälestus on säilinud meie päevini tohutute kivi-söelademetenähtena.

Karboni ajastu vohav taimestik neelas õhust tohutuid süsihappegaasi hulkasid. Mattunud kivisöelademetesse koondati mõnekümne miljoni aasta vältel enam kui 10^{14} tonni süsihappegaasi, s. o. 45 korda rohkem kui praegu atmosfääris leidub. Muidugi rikkus see süsihappegaasi tasakaalurežiimi ja kutsus esile Maa kliima tugeva jahenemise, hiliskarbonis alanud jäätumise.

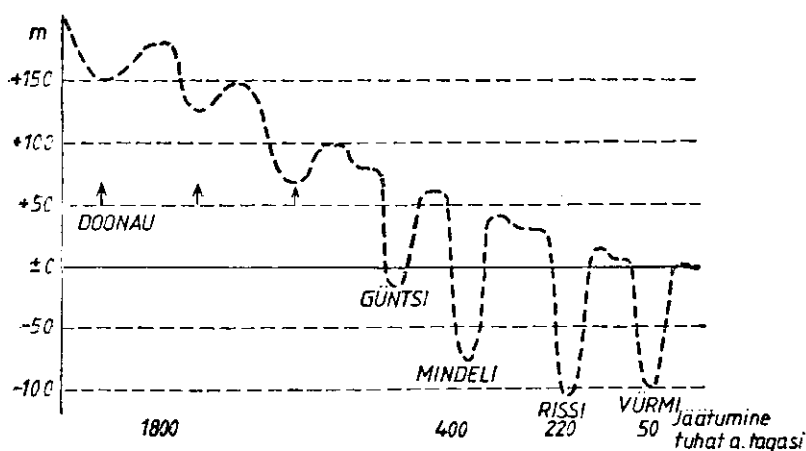
Süsihappegaasi ringkäiku looduses ei tohi vaadelda lahus mäetekkelistest liikumistest, mis samuti avaldavad kliimale tugevat mõju. Jääaegade teket kiirendas mägede kerkimisega kaasnenud vulkaaniline tegevus, mis paiskas õhku rohkesti vulkaanilist tuhka ja takistas päikesekiirte maapinnale jõudmist.

Nentisime eespool, et kvaternaarieelsel ajal ja kvaternaari ajastu esimesel poolel oli maakoor praegusega võrreldes palju rahutum. Rohkem oli maavärinaid ja vulkaanipurskeid ning mandrid olid nüüdsega võrreldes märksa kõrgemal. Kvaternaari ajastu jooksul on maapind kokkuvõttes küll vajunud, kuid kaugeltki mitte kõikjal. Mäestikualad on üldiselt kerkinud ja üsnagi hoogsalt: Andid 2—4, Kaljumäestik 1,8, Kaukasus 2—3, Himaalaja 2,5 ja Pamiir koguni 5 km võrra. Kümne kilomeetri kõrgusel on õhutemperatuur —40 kuni —50 °C, pealegi on mäenõlvad soojendavate päikesekiirte suhtes kaldu. Mägedes kuhjunud lumi ja jää mõjusid kliimale omakorda jahendavalt.

Teataval kõrgusel meretasemest esineb aasta jooksul horisontaalpinnale langenud tahkete sademete hulga ning nende sulamise vahel tasakaal. Sellist mõttelist joont looduses on hakatud nimetama alumiseks ehk kliimaatiliseks lumepiiriks. Kuna erineva ekspositsiooniga nõlvad saavad soojust ja sademeid erinevalt, siis on liustike kujunemise seisukohalt hoopis olulisem tegelik ehk orograafiline lumepiir, mis poolustel läheneb meretasemele, ekvaatoril aga (näiteks Andides) tõuseb 6400 m kõrgusele. Aastate jooksul tiheneb lumepiirist kõrgemal asuvates orvandites ja laugetel pindadel kuhjunud lumi ülakihtide raskuse ning allapoole valguva suvise sulamisvee toimel, muutudes esmalt teralumeiks e. firniks, seejärel aga liustikujääks.

Meile igapäevasest elust hästi teatud-tuntud pakases kõlinal kildudeks purunev jää muutub kõrge rõhu all ja sulamistemperatuurile lähedastes tingimustes hoopis plastseks ning võib isegi väikese kallakuse korral voolama hakata. Selleks piisab 45° nõlval 1,5—2 m paksusest jääkihist, 1—2° juures peab jää aga olema vähemalt 60—65 m paks. Väga suure, sadadesse meetritesse või kilomeetritesse ulatuva paksuse puhul on liustikujää liikumine keerulisem (libisemine piki kihpindu, rekristallisatsioon jne.).

Pleistotseeni mandriliustik kujutas endast maksimaalse leviku ajal tohutut külmakonservi. Liustikujää temperatuur kilbis küündis arvatavasti —20 °C-ni. Ainult liustiku alumistes kihtides oli



Joonis 19. Ookeanide veetaseme muutused kvaternaaris. Jääaegadel oli maailmameri tase praegusest palju madalam, jäävaheaegadel aga kõrgem.

temperatuur tänu Maa sisesoojusele ja liustikujää hõõrdumisele vastu aluspinda kõrgem, tõustes sulamistemperatuurini. Suure rõhu tõttu on jää sulamistemperatuur liustikus mõnevõrra 0°C madalam. Liustiku serval rõhk langeb ja jää külmub aluspinna külge, takistades nii jää laialivalgumist ja säilitades liustikule iseloomuliku elliptilise profiili. Sõltuvalt temperatuurist, aluspinna reljeefist ja liustikukilbi kujust on jää liikumiskiirus väga erinev, kõikudes mõnekümnest meetrist Ida-Antarktikas kuni 1200 meetrini (Gröönimaal) aastas. Üksikud sööstliustikud e. sõrdžid võivad mõnikord peale tungida kuni 40 m ööpäevas.

Esialgne jäätumiskeskus ehk jäätumiskolle kujuneb loomulikult mägedes, kust võib üha laienedes ja kasvades nihkuda tasandikele. Nii oli see ka Põhja-Euroopas, kus jäätumiskeskus igal jääajal esmalt paiknes Skandinaavia mägedes, seejärel kas Botnia lahe põhjaosas või koguni Kesk-Soomes. Kliima paranemisel ja jää sulamisel liikus jäätumiskeskus tagasi mäestikualadele, kus tema jäänustena on praegugi säilinud tillukesed väheaktiivsed mäeliustikud.

Jäätumiskeskusest liigub jää aeglaselt kõigisse suundadesse, rohkem loomulikult selles suunas, mis madalam ja kus sademete hulk suurem. Jää liikumist suunab oluliselt ka jääkilbi enda kuju. Suuremates kilpides võib jäätumiskeskusi olla mitu ja kõigis neis liigub jää madalamate äärealade poole, kus sulamine hoiab jääkihi õhemana ja kohalikust reljeefist tingitult kas rohkem või

vähem liikuvana. Jääkilbi sisepingetest ja aluspõhja suurvormidest tingitult vahelduvad liustikus korrapäraselt aktiivsed jäävoolud ja passiivsed jäälahkmealad. Ida-Euroopa lausmaa jäi näiteks jääajal kahe hiiglasliku, Soome ja Läänemere liustikuvoolu mõjusfääri, kusjuures nende suurus, liikumissuund ja toime eri jäätumistel ja jäätumiste staadiumidel olid erinevad.

Lisaks jääkilbi radiaalsele vööndilisusele esineb ka kontsentriiline vööndilisus ümber jäätumiskeskuse, mis seisneb liustiku erinevas aktiivsuses ja paksuses ning vastavalt ka jää kulutava ning kuhjava toime erinevustes. Jäätumiskeskuse lähedal on ülekaalus eksaratsioon ehk jääkünne, jää servadel aga kuhjumine. Eesti jääb üleminekualale, kusjuures Põhja-Eestis on valdav kulutus, Lõuna-Eestis juba setete kuhjumine.

Pole täpselt teada, kui paks oli Põhja-Euroopa jääkilp. Võib-olla lähedane praegusele Antarktika kilbile, kus jääkihi paksus kohati ulatub üle 4000 m. Arvutuste teel on Skandinaavia liustiku maksimaalpaksuseks saadud ligikaudu 2500—3000 m, Eestis aga võis see viimase mandrijäätumise maksimumi ajal olla umbes 1500 m.

Nüüdisajal on mandrijääga kaetud rohkem kui 16 miljoni km² suurune maa-ala ehk ligikaudu 11% maismaast. Liustikuks tardunud veehulk on tohutu, võrdues kõigi maailma jõgede 650—700-aastase vooluhulgaga. Kuid kvaternaari maksimaalse (Rissi) jäätumise ajal oli jääga kaetud maa-ala peaaegu kolm korda suurem — 45 miljonit km² ehk 30% maismaast (joon. 18). Et mandrijää saab tekkida vaid ookeanivee arvel, pidi sellele vastavalt maailmamere veetase jääaegadel olema praegusest tunduvalt madalam (joon. 19). Jääkattest ja merest puutumata aladel kujunes tihe vetevõrk, mida meil tähistavad kvaternaarieelsetest orgudest mõnevõrra madalamad ürgorud (näit. Tartu linnas).

Teadus on enneolematu müütide kogu, kus üksikisiku arvamused, kahtlused ja mõõtmiste juhuslikkus pakutakse objektiivse tõe pähe. Kuigi teatakse, et mõne aasta pärast leitakse veelgi objektiivsem tõde.

Arvo Valton

Aga äkki teda polnudki?

«Jääaegu pole kunagi olnud ja neisse uskumine kõneleb uurijate vaimsest puudulikkusest,» arvas veel möödunud sajandi keskpaiku üks oma aja tuntumaid geolooge R. Murchison. Ka meie maa-ala geoloogilise uurimise suurkujud G. Helmersen (1803—1885), C. Grewingk (1819—1887) ja Fr. Schmidt (1832—1908) ei suutnud pikka aega uskuda, et lausjää võiks edasi lõunasse liikuda mööda niisugust vahelduva reljeefiga maad, nagu on Läänemerd ümbritsevad alad. Veel 1861. a. kirjutas Constantin Grewingk, et seoses Skandinaavia kerkimisega ja Baltimaade vajumisega kujunes meri, kus põhjast lõunasse liikusid võimsad diluviaalseteid kujundanud mudavoolud ja rahnusid edasi kandvad jäämäed. Fr. Schmidt arvas, et liustikud laskusid Skandinaavia mägedest Põhjalahte, kus murdusid jäämägedeks ja kandsid lõunasse, kulutasid aluspõhja pealispinda ja kandsid ühtlasi edasi ka kivistmaterjali. Oma järeldustes polnud meie teaduskorüfeed kaugeltki originaalseid. Mudavoolude õpetuse oli juba möödunud sajandi kolmekümnendatel aastatel oskuslikult ära põhjendanud Berliini ja Pariisi Teaduste Akadeemia liige, oma aja väljapaistvamaid geolooge Christian Leopold von Buch. Drifti hüpoteesi, mille kohaselt nüüd mandrijää seteteks peetav kivimmaterjal olevat kohale toodud hoopis meres ujuvate jäämägedega, püstitas 1840. a. veelgi kuulsam mees — Charles Lyell. Olgu lisatud, et liustiku liikumine isegi kõrgmägedes suurte kallakute juures sai tõestatuks alles möödunud sajandi 30. aastate keskel.

Kuid ometi leidsid isemõtlejaid (J. Agassiz Šveitsis, J. Geikie Inglismaal, I. Kjerulf Norras, O. Torell Rootsis jt.), ja juba möödunud sajandi 80. aastatel oli valdav osa teadlasi ümberlukkamatute faktide mõjul täielikult mandrijäätumise teooria seisukohtadele asunud. Kahtlejaidki jätkus, ning neid jätkub veel praegugi. Seejuures on üllatav, et kahtlejate enamik töötab Nõukogude Lii-

dus. Kogu Nõukogude Liidu arvukas kvaternaargeoloogide pere on jagunenud kaheks leeriks: «marinistideks» ja «glatsialistideks», kelle vahel juba üle kolmekümne aasta käib aktiivne sulesõda populaarteaduslike ning teaduslike väljaannete veergudel ja elav diskussioon teaduslikel nõupidamistel. Seisukohtade diametraalse erinevuse tõttu on kokkuleppe saavutamine eri leeride vahel raske.

Vaidlus sai alguse naftaotsimisest 1950. aastal Lääne-Siberi tasandikul. Rohked uued puuraugud võimaldasid ümber hinnata V Obrutševi jt. vanema põlvkonna uurijate suhteliselt väheste andmete põhjal tehtud paleogeograafilisi ja stratigraafilisi järeldusi. Selgus, et Obi ja Irtõši jõe piirkonnas ning mitmel pool mujal esinevad pealiskorra kivimite rikked pole seotud rändpan-gastega, nagu varem arvati, vaid tõelise tektoonikaga, sealhulgas sageli naftat sisaldavate struktuuridega.

Järgmine mõra ilmnes liustikusetete struktuuri ja ainelise koostise uurimisel. Leiti, et seni moreenideks peetud setetel oli sageli meresetetele iseloomulik kihilisus ning nad sisaldasid rohkesti hästi säilinud merelimuste ja kambriliste kodasid ning räni-vetikate kesti. Kõik see sundis Siberi jäätumise pooldajaid tegema vastasleerile järjest suuremaid järeleandmisi. Oeldut peegeldavad uusimad paleogeograafilised kaardid, kus mandrijää levik on näidatud tunduvalt tagasihoidlikumalt kui V Obrutševil ja teistel varasematel Siberi uurijatel.

Esimestest edusammudest uut hoogu saanud «marinistid» muutusid ründavaks pooleks ka teistes Nõukogudemaa piirkondades, seades kahtluse alla mandrijäätumise teooria tervikuna (N. Tšotšia, I. Kuzin, V. Pidoplitsko). Selle suuna pooldajaid leidub Baltimaadegi uurijate seas (D. Afanasjev Lätis). «Marinistide» arvates ei ulatunud mandriliustikud kvaternaaris Skandinaaviamaadest lõuna poole ning Baltimaadel ja mujal Nõukogude Liidu loodeosas laialdaselt levinud moreensetted ning vahelduva pinnamoe (sealhulgas voored, oosid jt.) kujundasid hoopis merelained, rannikujää ja meres ujuvad hiiglaslikud jäämäed. Arvukate jäämägede sulamisel kuhjus merepõhja nii sorditud kui ka sortimata settematerjali, mis peale maa hilisemat kerkimist ja mere taandumist murrutusid ja uuristusid. Nende teadlaste kujutluste kohaselt oleksid näiteks oosid erosioonijäänukid.

Tuntud eesti vanasõna ütleb: «Ega muidu tüli ei tule, kui mõlemal poolel õigust ei ole!» Ja vaevalt oleks omapoolset veenvat andmestikku esitamata korrektne vastaspoolt asjatundmatuses süüdistada. Käesoleva töö autor uuris 15 aastat tagasi komplekselt Eesti ja naaberalade moreenide mineraalset, keemilist ja faunistilist koostist ning ehitust. Tõsi, pealiskaudsel hindamisel leidub siin fakte, mis näiliselt kõnelevad «marinistide» teooria

kasuks. Kohati on kihilisi moreene, neis aga rohkesti merelist mikro- ja makrofaunat. Näiteks on Eesti NSV territooriumil teada 8, Läti NSV-s aga üle 20 faunat sisaldava erivanuselise moreeni leiukoha. D. Afanasjevi ning Moskva kolleegide I. Danilovi, G. Nedžoševa ja P. Smirnova andmetel esineb Läti moreenides kohati rohkesti merelisi ränivetikaid (näit. *Melosira sulcata*, *Campylodiscus clypeus* jt.), kambrilisi (näit. *Elphidium subclavatum* jt.), ostrakoode (näit. *Cythereis tuberculata* jt.) ja limuseid (*Portlandia arctica*, *Mytilus edulis* jt.), mis viitavat nende moreenide settimisele külmaveelises ja madala soolsusega umbes 150—200 m sügavuses meres. Jämedapurrulise materjali olevat kandnud merre jõe- ja rannikujää ning osaliselt ka Skandinaaviamaade rannikul aeg-ajalt lahtimurdunud jäämäed.

Hoolikam uurimine kinnitab, et fauna ja ränivetikad esinevad moreenides siiski juhuslikult, on sageli purustatud ja selgete kulutusjälgedega, mispärast nende esinemist on hoopis loogilisem seletada ümbersettimisega, seda enam, et üheskoos leidub sooja- ja külmalembeseid liike. Alates juba Lihvini jäävaheaajast laius Läänemere nõos jäävaheaegadel ning suurtel staadiumivaheaegadel meri, kus kümnete aastatuhandete vältel kuhjusid tüüpilised meresetted. Hiljem, mandrijää liikumisel üle Läänemere nõo, satustid need setted liustiku ja edaspidi moreenide koostisse. Selle oletuse kasuks kõneleb ka moreenides leiduva fauna ja floora sage esinemine rannikupiirkonnas (Lätis näiteks Kurzemes). Pole muidugi võimatu, et osaliselt kuhjusid moreenid liustiku paisutatud suurjärves või meres uitavate jäämägede sulamisel, kusjuures jääst vabanenud settematerjal segunes tüüpilise meresettega. Näiteks Gröönimaa ja Antarktika rannavetes ulatuslikult levinud meremoreen pärineb tõepoolest mandriliustikest lahtimurdunud jäämägedest. Sealse järskranna tõttu sügavasse ookeani laskuvad liustikud murduvad eranditult, mistõttu jäämägesid on palju ja nende mõõtmedki aukartustäratavad. Olgu öeldud, et igal aastal registreeritakse polaarvetes ligikaudu 16 000 jäämäge ja nende kogumaht on 3500 km³. Mõned neist kaaluvad üle miljoni tonni, on ligikaudu kilomeeter pikad ja ulatuvad kuni 170 m merepinna kõrgemale ning mitmesaja meetri sügavusele. 1927. a. nähti Rossi meres 167 km pikkust ja 30—40-meetrise veepealse kõrgusega hiiglast, 1956. a. aga nähti Antarktikas koguni 330 km pikkust ja 100 km laiust jäämäge. 1987. a. novembris hakkas Rossi merel triivima ligikaudu 170 km pikkune ja 45 km laiune enam kui 200 m paksune jääpank. Sellised hiidpangad ületavad mitmekordselt aastas keskmiselt jäisest mandrist eralduva jää hulga.

Kuna Läänemere nõgu on madal ja lauge, siis aeglaselt merre laskunud mitmesaja meetri paksused liustikud siin ei murdunud, vaid liikusid tüüpiliste mandriliustikena mööda endist merepõhja

ja täitsid aja jooksul kogu nõo. Selle oletuse kasuks räägib kogu Läänemeremaadel aastakümnete jooksul kogunenud geomorfoloogiline ja litoloogiline andmestik. Näiteks kui siinse moreeni oleksid tõepoolest kuhjanud rannikujää või jäämäed, siis peaksid moreenis esinevad pirnikujulised veerised paiknema settes enam-vähem vertikaalselt, raskem osa allapoole. Tegelikult asetsevad sellised veerised Baltimaade moreenis peaaegu horisontaalselt, pealegi langeb piklike veeriste suund hästi kokku jääkriimude, pikioside ja voorte suunaga, s. o. mandrijää liikumise suunaga. Võib tuua teisigi näiteid, mis koos võetuna räägivad meie ala kontinentaalse jäätumise kasuks. «Marinistid» hülgevad oma järelduste tegemisel kahjuks kompleksuse printsiibi ja toetuvad enamasti üksikfaktidele, eeskätt faunaleidudele.

Uued andmed Pleistotseeni setete koostise ja neis sisalduva fauna ning floora kohta maakera eri piirkondades võimaldavad oluliselt täpsustada ühe või teise piirkonna arengulugu, kuid nad ei anna alust mandrijäätumise teooria ümberlükkamiseks. On tõenäoline, et Lääne-Siberis ja Petšora jõgikonnas oli jäätumine teistsuguse iseloomuga ning tunduvalt piiratum, kui varem arvati. Kuid nende piirkondade kohta tehtud järeldusi ei tohi mehhaaniliselt mujale üle kanda. Siberi kliima oli ka Pleistotseenis kontinentaalne. Et sademeid oli vähe, pinnamood valdavalt tasane, mäed kaugel ning kõrgus merepinnast väike, puudusid seal eeldused jäätumiskeskuse ning ulatuslike mandriliustike kujunemiseks. Skandinaaviamaades oli olukord teistsugune. Mäed ja Atlantilt puhuvad niisked tuuled hõlbustasid jäätumiskeskme tekkimist, reljeef aga soodustas liustike pealetungi. Praegu Skandinaavia liustikud puhkavad, kuid aastatuhandete pärast võivad nad chustada inimkonda uue jääajaga. Meid see siiski ei heiduta, sest sel ajal oskab inimene tõenäoliselt jääaegu vältida.

*Jäistest lõugadest liuskas
liustiku harali keel
kaljudest raudkövu kive
kugistas teraskalk neel*

*rankade murdunud hambaid
mustendas pinguvast jääs
Maavaldal kohutav kujur
hööveldas yrgvõimsas väes*

Peep Ilmet

Jäise hinguse mõjul

Alles hiljuti kujutati kvaternaari ühtlase lakkamatult külma ajana. Setetes leiduvate looma- ja taimejäänuste, puude ja rohttaimede ning eoste uurimisel on selgunud, et jääajad vaheldusid jäävaheaegadega. Liustikud ilmusid vähemalt neljal-viiel korral, peatusid siis, sulasid ja tekkisid seejärel uuesti. Loomulikult kaasnes selle kõigega ka taimkatte pidev muutumine: külmalembene arktiline ja lähisarktiline taimestik asendus mõõduka ja soojalembesega, et hiljem taas hävida ja esimestele ruumi anda. Kliima oleneb paljudest teguritest, seejuures oluliselt vaadeldava ala geograafilisest laiusest. Ühe ja sama jäävaheaja kliimaoptimum on lõunapoolsetel aladel muidugi soojem kui põhjapoolsetes piirkondades. Jäävaheaega määrav tunnus, tema kliimaoptimum, peab olema soojem või vähemalt niisama soe, kui on tänapäeva kliima antud kohas, ja see peab olema kindlaks määratav kõikjal.

Esimeste külmalainete ajal (Okaa jäätumine Ida-Euroopa lauskmaal, Mindeli jäätumine Alpides) ei jõudnud liustik kuigi kaugele, vallutades vaid väikese osa Euroopast (joon. 18). Siiski levitas ta kõikjale oma jäist hingust. Kuni jäätumise alguseni elasid Euroopas esmajoones lõunamaised loomad. Liustiku eest püüdsid nad põgeneda kaugemale lõunasse. Kuid seal olid ees omad asukad. Jääliustikest vallutamata aladel kohtusid vanad peremehed kutsumata külalistega. Algas halastamatu võitlus toidu pärast, võitlus olemasolu eest. See kiirendas looduslikku valikut.

Ligikaudu 50 000—100 000 aastat kestnud Okaa jäätumine andis paljudele loomarühmadele tõsise hoobi ja kui jää taandus, ei naasnud järgnenud Lihvini jäävaheajal sootukski kõigi rühmade esindajad vanale eluasemele. See-eest oli uusi tulnukaid,

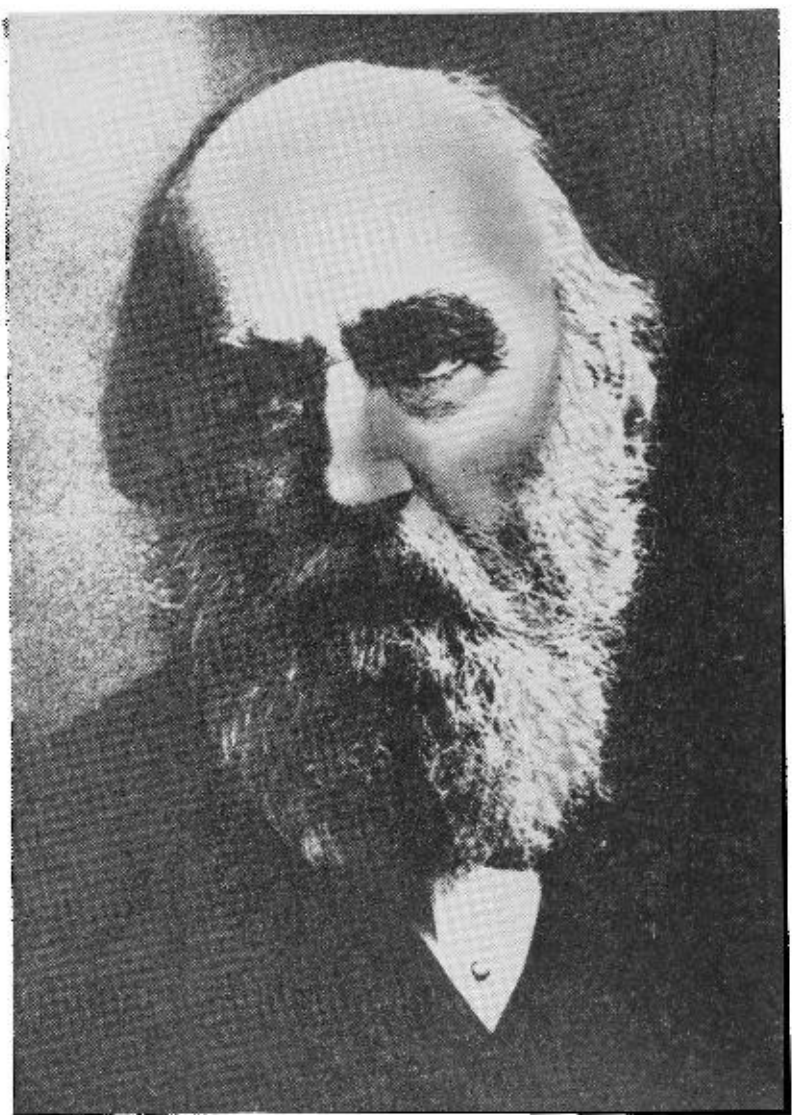
näiteks lõvid, häänid ja elevantid. Viimastega üheaegselt elasid mercki ninasarvik, ürgveis, hiigelhirv, hiigelkobras, põdrad, metskitsed jt. mõõduka kliimaga kohanenud loomad.

Rohkem kui 150 000 aastat puhkas jääliustik, enne kui uuesti pealetungi alustas. Rissi e. Dnepri jäätumine oli kõigist teistest karmim. Skandinaavia liustik valgus üle Läänemere, kattis Inglismaa, Põhja-Saksa tasandiku, Põhja-Prantsusmaa ja suure osa Nõukogude Liidu Euroopa-osa territooriumist. Kahe suure keelena ulatus liustik piki Doni ja Dnepri orgu lõunasse ja ei puudunud palju, et ta oleks jõudnud Musta mereni (joon. 18). Skandinaavia liustik ei olnud ainus. Nagu teistegi jäätumiste ajal laskusid jääkeeled ka Alpidest, Püreneedelt, Karpaatidest ja paljudelt teistelt mäeahelikelt. Isegi Itaalias, kus praegu kasvavad palmid, olid siis kohati liustikud. Jää all oli Kanada ja suur osa Siberist ning Ameerika Ühendriikidest. Külmalaine tabas ka Aafrikat.

Ligikaudu 180 000 aastat kestnud maksimaalse jäätumise ajal vaesestus Euroopa loomariik tunduvalt. Ülekaalu saavutasid karmi kliimaga kohastunud liigid. Nii näiteks luusisid Lääne-Euroopas mammutid ja põhjapõdrad, Kesk-Euroopasse ilmusid muskusveis, karvane ninasarvik, ürgpiison, polaarrebane jt. Need loomad asustasid, liikudes sulava mandrijää järel, ka Eesti ala. Sellele viitavad ürgpiisoni, karvase ninasarviku ja mammuti luufragmentide leiud meie vabariigi erinevatest rajoonidest. Mainitud tundrafauna esindajad asustasid laialdasi maa-alasid ka järgneva Moskva ja Valdai jäätumise kestel, ja mitte üksnes Põhja-Euroopas, vaid isegi Itaalias ja Krimmis. Nad olid kohastunud eluks väga karmis kliimas. Mammuteid kaitses külma eest kohati kuni 45 cm pikkune tihe karvkate ja kuni 10 cm paksune nahaalune rasvakiht. Ülemisel lõualuul olid mammutil kuni 5 m pikkused kõverad võhad, ta toitus peamiselt rohttaimedest ja puuokstest. Siberi igikeltsast on leitud peaaegu tervena säilinud mammutilaipu, mistõttu nii nende loomade kehaehitust kui ka menüüd on hästi tundma õpitud. Omapoolse panuse sellesse uurimistõesse andis ka Eesti geoloogia patriarh Friedrich Schmidt (1832—1908), kes 1866. ja 1867. a. uuris mammuti jäänuseid Jenissei ja Obi alamjooksu vahelises tundras ja tõi Peterburi osaliselt säilinud mammutiskeleti koos naha ja karvadega. Sellest jäi talle elu lõpuni hüüdnimi «Mammuti-Schmidt» (joon. 20).

Loomulikult ei tulnud teadmised mammutitest üleöö. Et nende laipu leiti sageli jõe uuristatud kaldajärsakuist, peeti mammuteid kaua aega hiiglaslikeks valgust kartvateks «maamuttideks», kes juhuslikult maapinnale sattunult surid valgusrabandusse.

Jäätumisest jäätumiseni jäi loomade maailm aina kasinamaks. Meieni on säilinud palju vähem loomaliike, kui neid oli kvaternaari alguses. Säilinud liigid tegid läbi kiire evolutsiooni. Parim



Joonis 20. Eesti kvaternaargeoloogia üks silmapaistvamaid uurijaid oli akadeemik Friedrich Schmidt (1832—1908), keda sõbrad heatahtlikult Mammuti-Schmidtiks kutsusid. Selle hüüdnime sai ta kogu Euroopas tuntuks saanud mammutijäänuste uurimisekspeditsiooni eest Obi ja Jenissei vahelises tundras 1866. ja 1867. aastal.

näide on inimese ja tema eellaste kiire areng kvaternaaris. Kaugel kvaternaarieelsel ajal elanud inimese võimalikel esivanematel parapiteekusel, propliopiteekusel ja drüopiteekusel oli inimesega veel väga vähe ühist. Neist esimesena nimetatud, neljal jalal kõndinud, ent enamasti ikka puude otsas elutsenud loomake oli ainult kassi, propliopiteekus aga keskmise koera suurune.

Kvaternaari algul, varases Pleistotseenis ja mõnevõrra hiljem, Keskpleistotseeni esimesel poolel (ligikaudu 300 000—700 000 aastat tagasi) elanud ahvinimesed, nagu näiteks pitekanthropus (elas Jaava saarel ja Olduvai orus), Hiinas elanud sinantropus, Lääne-Euroopat asustanud heidelbergi inimene jt. käisid kindlalt kahel jalal ning oskasid valmistada lihtsaid tööriistu nii kivist kui ka puidust. Sinantropus ja heidelbergi inimene oskasid ka tuld kasutada.

Keskpleistotseeni keskpaigast kuni viimase jäätumise alguseni (ca 80 000 aastat tagasi) asustasid meie planeedi paljusid piirkondi ürginimesed, neandertallased. Need tugeva kehaehitusega inimesed, kel oli madal otsmik, ettetükkiv lõug ja hästiarenenud hammastik, elasid loomade (koopakaru, koopalõvi) valdusest kättevõidetud koobastes või puukoorest, okstest ja nahkadest valmistatud onnides. Rõivastuseks kasutasid nad rihmadega kinnitatud pehmekstambitud loomanahku. Nad oskasid juba kõnelda, tahuda kivist kirveid ja tule abil küttida. Neandertallased ei surnud välja nagu mitmed teised ürginimesed, vaid kadusid segunemise tõttu *Homo sapiens*'i, mõistusega inimese rassidega.

Arengutee parapiteekusest ja drüopiteekusest neandertallaseni on geoloogilises mõttes olnud väga lühike. Võitlus arvukate vaenlastega sundis ürginimesi ühinema ning järjest täiuslikumaid töö- ja jahipidamisriistu välja mõtlema. Sellega kaasnes psüühiliste võimete kiire areng. Kehalised ja vaimsed eeldused, pingutav töö ja pidev visa võitlus olemasolu eest viisid inimese kõrgemale kõigist loomadest, võimaldasid tal tõusta looduse valitsejaks ning Maa pindmikku oluliselt mõjutavaks geoloogiliseks teguriks.

Jälgides inimese ja loomariigi suhteid näeme, et need on olnud väga keerukad ja põnevad. Esmalt olid inimese eellased valdavalt kütitava osas, sellele järgnes elu võrdsena võrdsete seas. Kuid, nagu on kirjutanud Peeter Ernits, polnud siingi alati selge, kes oli antud momendil kütt, kes kütitav. Sellest tulenes ühest küljest loomade hävitamine, teisest nende kartmine, austamine ja jumalustamine. Järgnes loomade kodustamine ja nende kasutamine mitmesugustel majapidamistöodel ning kõige viimase, nüüdisetapina, loomade aretamine ja looduses tundmatute ristan-dite saamine.

Inimene on järsult rikkunud looduses väljakujunenud tasa-

kaalu. Seoses jahipidamisviiside täiustamisega hakkas ta umbes 50 000 aastat tagasi kiiresti hävitama liike Aafrikas ja Kagu-Aasias. Varasel kiviajal hävis Aafrikas näiteks 30% eelajaloolisel ajal elanud suurimetajatest. Veelgi ulatuslikumad fauna muutused toimusid seal seoses maaviljeluse arenguga ja rahvastiku kasvuga nooremal kiviajal. Euroopas ja Aasias avaldus inimese mõju loomariigile küll mõnevõrra hiljem, kuid niisama hävitavalt.

Kiviaja inimene avaldas mõju ka taimeriigile, eelkõige jõgede ja järvede ääres, kus elupaikade rajamiseks tuli metsa harvendada. Põhjaliku pöörde inimese ja taimeriigi suhetesse tõi alepõllunduse areng. Kontrolli alt vabanenud leegid hävitasid sageli hulgaliselt looduslikke metsi. Ka alepõllunduseks endaks raiuti ja põletati metsa ning võsa suurtel maa-aladel, sest mulla looduslik viljakus selliselt töödeldud uudismaal vähenes kiiresti, maa-tükk tuli sööti jätta, asemele aga võeti uus metsa osa.

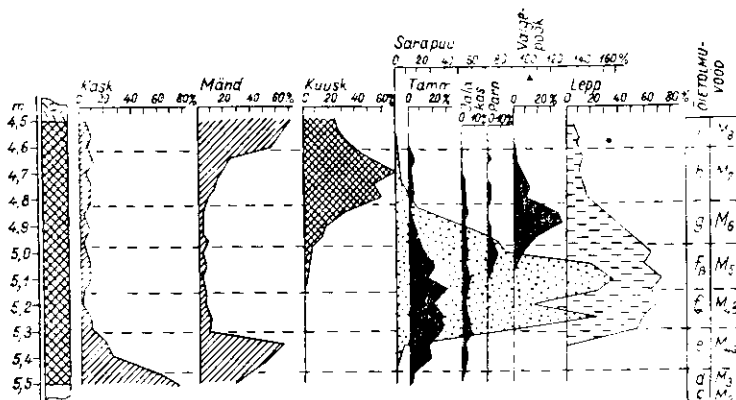
Üldreeglina töötasid loodus ja inimene taim- ja loomariigi kujundamisel käsikäes, põhjustades jääajaeelsete liikide väljasuremist ning uute, tänapäeva tingimustele kohastunud liikide ja varieteetide kujunemist.

Mitme tundmatuga võrrand

«Ütelge, mitu korda siis liustik Eesti maa-alale tungis? Mille eest teile teaduslik kraad on antud, kui te isegi niisugust lihtsat asja ei tea!» Korduvalt olen kuulnud sellist küsimust ning küsimusele järgnevat pahameele väljendust isegi teaduskraadiga pärjatud meestelt. Vastan ausalt: «Ma ei tea ja küllap see vist jääbki mul teada saamata.» Võib-olla polegi see teadmine nii hirmus tähtis ning oleks isegi natuke kahju — kui mitte minul, siis noorematel uurijatel —, et palju huvitavat poleemikat jääks sel juhul tulevikus ära.

Kuni Keiserliku Tartu Ülikooli geoloogiaprofessor Constantin Grewingkini kõneldi Eesti- ja Liivimaal vaid ühest koletust, jumala poolt patuste karistamiseks saadetud jääajast. Et C. Grewingk märkas Tartus ja Tartust lõuna pool kahte eriilmelist põhi-moreenkatet (alumist halli ja ülemist punast) ning nende vahel kohati suurimetajate luudega liiva- ja kruusakihte, hakkas ta oletama vähemalt kahe iseseisva jääaja olemasolu. Hiljem leidis ta Kraslavast Daugava ääres oma järelduste kinnituseks koguni moreenidevahelisi turbakihte. Kõigest sellest kirjutas ta 1879. a. ilmunud Liivi-, Eesti- ja Kuramaa uue geoloogilise kaardi seletuskirjas «Erläuterungen zur Zweiten Ausgabe der Geognostischen Karte Liv-, Ehst- und Kurlands», mistõttu nimetatud aastat on otstarbekas lugeda Baltimaade polüglatsialismi teooria alg-aastaks.

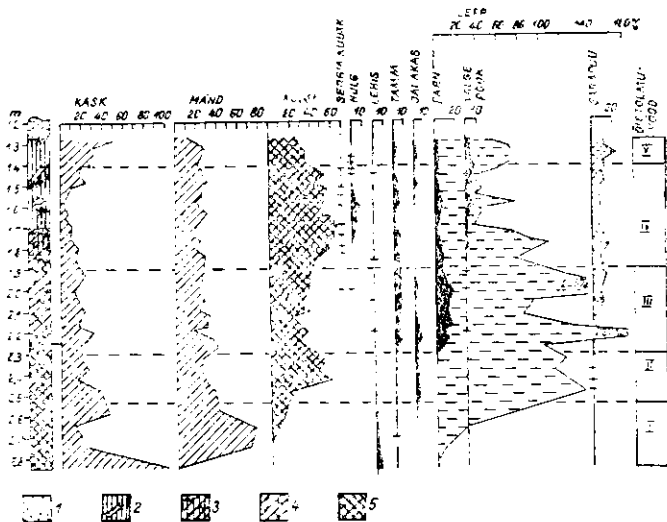
Ometi kulus veel 60 aastat, kuni C. Grewingki oletus leidis Eestimaal otsest tõestust. Nagu sageli, saatis siingi avastust juhus. Rõngu lähedal sattus sealne Vaeva talu peremees kaevu kaevamisel 1,2 m paksuse moreenikihi ja 1,3 m paksuse kollakasvalge põimjaskihilise liiva läbimise järel ootamatult tugevasti haisvale pruunile turbakihile, mis õhu käes kiiresti tuhmmustaks oksüdeerus. Ta tõi turba näha Tartu Ülikooli Geoloogiainstituudi tollaegsele assistendile, hilisemale akadeemikule Karl Orvikule, kes kiiresti leiupaika tõttas. Tegemist oli esimese kindlalt tõestatud Mikulino ehk Riss-Vürmi vanusega (vt. tabel 2) jäävaheaja setete leiuga Baltimaadel ja kõige põhjapoolsema seni teadaolnud jäävaheaja setete leiuga üldse. Jäävaheaegsed setted esinevad Rõn-



Joonis 21. 1939. a. avastatud jäävaheaja setete Rõngu leiukoht oli kõige põhjapoolsem seni teadaolnuist ja sai kiiresti kuulsaks üle kogu maailma. Paul Thomson andis 1941. a. Rõngu setete õietolmu-vööde detailse (c—i) kirjelduse, millele võrdluseks on toodud Nõukogude Liidus praegu kasutusel olevad indeksid M_2 — M_8 . Joonisel on läbilõike kõige iseloomulikud sapropeliidiga (profiilis ruudustatud) osa.

gus ligikaudu 3,3 m paksuse väga tiheda bretsalaadse turbana ja meetripaksuse sapropeliidina, mille all kohati leidub veel vee-
taimede varrejäanustega savisegust järvelupja. Läbilõike tervikuna kõneleb veekogust, mis pikapeale kinni kasvas, sooks muutus ja lõpuks rabastuma hakkas.

Jäävaheaja kõige alumine, karmi kliima aegne osa Rõngu läbilõikes puudub. Järvelubi ja sapropeliidi alumised kihid on settinud juba tänapäevastele lähedastes kliimatingimustes, kus metsakoosluses olid enamuses mänd ja kask. Seejärel muutusid valitsevaiks lepametsad, millega üheaegselt Rõngu ümbruses esines rohkesti ka tammesegametsi ja sarapuud. Sapropeliidi keskmise ja ülemise osa tekkimise ajal oli seal peale kuuse- ja lepametsade suurel hulgal valgepöögimetsi. Mõlemal juhul on tegemist metsadega, mis võisid kasvada ainult praegusest soodsamates kliimatingimustes. Sooturba tekkimise ajaks muutus kliima taas jahedamaks, vastates lähisatlantilisele või meie praegusele kliimale. Valitsesid männi- ja kuusemetsad. Kõige ülemised, lähisarktilisele ja arktilisele kliimastaadiumile vastavad settid Rõngus puuduvad, on pealetungiva liustiku poolt ilmselt ära kantud. Jälgides Rõngu õietolmudiagrammi alt üles, näeme lepa, sarapuu, pärna, valgepöögi, kuuse ja männi levikumaksimumide järgnevust (joon. 21). Haripunktile jõudis taimeistiku areng valgepöögi

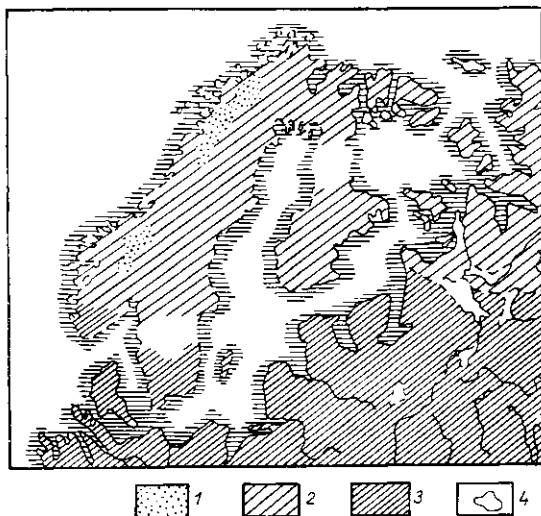


Joonis 22. Vaidlused Karuküla setete vanuse ümber jätkuvad tänini. Arvata-
vasti kuuluvad need setted Lihvini jäävaheajaga, mis oli märksa jahedam
Mikulino jäävaheajast. Joonisel on lihtsustatud variant Elsbet Liivranna poolt
koostatud Karuküla setete õietolmudiagrammist. 1 — liiv, 2 — puuturvas, 3 —
üleminekuturvas, 4 — osjaturvas, 5 — sapropeliit.

maksimumleviku ajal. Seejuures on huvitav, et pärast jääaega
valgepöök Eesti metsades peaaegu puudus. Üksikuid valgepöögi
õietolmuteri esineb setetes alles alates atlantilisest kliima-
perioodist. Praegu tema leviku põhjapiir Eestisse enam ei ulatu.

1939. a. oli meie kvaternaargeoloogidele üldse erakordselt
õnnelik. Rõngu leiukoha avastamisest levis kumu üle Eestimaa
ja peagi jõudis ülikooli teade veel ühest moreenialusest turbast
Kilingi-Nõmme lähedal. Kui Rõngu läbilõike vanuse määramisega
ja selle naaberalade leiukohtadega rööbistamisega raskusi ei tek-
kinud, siis uue, Karuküla leiukoha vanuse ümber kestavad vaid-
lused tänaseni. Olen erinevate maade teadlastega korduvalt käi-
nud selles kõigi kvaternaristide poolt tuntud-teatud leiukohas
Pärnu rajooni ühes kõige mahajäetumas kolkas ja tundnud vana-
peremehe Karl Kosenkraniuse süüdistavat pilku, kui me tema
õue või karjamaa taas segamini olime pööranud.

Kuni 1960. aastateni arvati, et Riss-Vürmi (Mikulino) jäävahe-
ajal oli kaks lühiajalise jähinemisega eraldatud kliimaoptimumi.
Seetõttu arvati Eesti varasemates stratigraafilistes skeemides
Rõngu moreenidevahelised setted selle jäävaheaja varasemasse,



Joonis 23. Soojal Mikulino jäävaheajal sulasid liustikud jõudsalt ja kujunenud Eemi meri ujutas madalamad rannikualad üle. Tundravöönd Põhja-Euroopas sellal puudus, seal levisid 1 — kõrgmäestiku taimeistik, 2 — taiga okaspuumetsad ja 3 — laialeheliste puude metsad. Tingmärgiga 4 on tähistatud järved. (Vladimir Gritšuki rekonstruktsioon.)

soojemasse kliimastaadiumi kuuluvaiks, Karuküla moreenidevahelised setted aga hilisemasse, jahedamasse kliimastaadiumi. Hilisemad uurimused on näidanud sellise järelduse paikapidamatust.

Et ligikaudu ühe hektari suurusel pindalal esinev rohkem kui meetripaksune osja- ja puuturba ning sapropeliidikiht on Karukülas üsna maapinna lähedal (2–3 m sügavusel) ning kaetud vaid ühe, viimase jääaja moreeniga, oli üsna loogiline vastavate setete lugemine kas Vara- või Keskvaldaiaaega (vt. tabel 2). Selle oletuse kasuks kõneles ka saadud füüsikaline vanus (ligikaudu 50 000 a.). Praegu on kindlaks tehtud, et moreenialused setted pole seal oma esialgses lasuvuses, vaid on kaugemalt rändpangasena kohale kantud. Kõige tõepärasemaks loetakse nende setete Mindel-Rissi- ehk Lihvini-aegset vanust (vt. tabel 2). Selle väite kasuks kõneleb setete õietolmudiagramm. Sette botaaniline koostis seab seevastu rohkesti täiendavat selgitamist vajavaid küsimärke, sest jääajaeelsed eksoodid ning vanematele jäävaheaegadele iseloomulikud taimejäänused seal praktiliselt puuduvad.

Laialeheliste puude õietolmu sisaldus on Karuküla setetes

väike (leppa arvestamata kuni 18%). Vähe on sarapuud ning täiesti puudub Rõngu läbilõikele iseloomulik valgepöök (joon. 22). Kliimaoptimumi iseloomustavad pärna- ja lepamaksimum, millele hiljem järgneb kuusemaksimum. Rohkesti esineb männi õietolmu. Kliima Karuküla moreenidevaheliste setete kujunemise ajal oli seega märksa jahedam kui Mikulino jäävaheaajal. Lihvini jäävaheaeg oligi külmem.

On kindlaks tehtud, et igale jäävaheajale olid iseloomulikud oma spetsiifilised kliimarütmid ja taimeliigid. Taimekoosluste vaheldumine ei kulgenud kõigil jäävaheagadel kaugeltki ühesuguse skeemi järgi. See võimaldab jäävaheagsete setete õietolmudiagrammide võrdlemise teel enamasti küllaltki ühemõtteliselt määrata läbilõigete vanuselist kuuluvust. Mida vanem on jäävaheaeg, seda rohkem esineb setetes praeguseks välja surnud või eksootilisi taimeliike ja nende õietolmu. Riss-Vürmi jäävaheaja flooras väljasurnud liigid peaaegu puuduvad ning eksootilisi elemente esineb ainult rohttaimede seas. Mindel-Rissi jäävaheaja esines NSV Liidu Euroopa-osa loodealadel nüüdseks väljasurnud taimeliike umbes 15% ning soojalembeseid eksoote ligikaudu 10%, kuid üldiselt valitsesid praegu kasvavad puud ja taimeliigid, nagu kask, mänd, kuusk, lepp, sarapuu jt.

Kõige soojem teadaolevatest jäävaheagadest oli Riss-Vürmi ehk Mikulino jäävaheaeg, mille kõige soojemal etapil tundra-vöönd Nõukogude Liidu Euroopa-osas täielikult puudus ning seal levis neli taimestikuvööndit: okaspuumetsa, laialeheliste ja okaspuude segametsa, laialeheliste puude ja metsastepi vöönd (joon. 23). Jäävaheaja esimest poolt iseloomustab suur laialeheliste puude maksimum, kus harilikult üksteise järel kulmineerusid tamm, pärn ja jalakas. Nendega koos esines rohkesti sarapuu- ja lepametsi.

Mindel-Rissi ehk Lihvini jäävaheaeg seevastu oli niiske ja suhteliselt jahe. Laialehelisi puid kasvas sel ajal vähem. Kliimaoptimumi ajal esines rohkesti leppa, Mikulino jäävaheajale iseloomulikkude sarapuud leidis väga tagasihoidlikult. Eestist lõunapoolsetel aladel oli Lihvini jäävaheajale iseloomulik veel rohke valgepöögi ja nulu esinemine ning nende peaaegu üheaegne kulminatsioon, kuid Eestis seda tunnust Lihvini jäävaheaja eraldamiseks kasutada ei saa. Tähtsateks indikaatorliikideks loetakse mitmeid praegu välja surnud eostaimi (*Osmunda claytoniana*, *Azolla filiculoides* jt.) ja puid (*Picea* sec. *Omorica*, *Pinus* sec. *Strobus*, *Ilex aquifolium*, *Tilia tomentosa* jt.), kuid neid on harva leida ja mõnikord ka raske määrata. Eriti keerukaks muutub uurija töö sel juhul, kui ta peab setete vanuse üle otsustama vaid jäävaheaja ühe osa, mõnekümne sentimeetri paksuse settekihi alusel, mis pealegi ei asu oma esialgses kohas.

Selliste raskesti interpreteeritavate kihtide vanuse ümber vaidlused enamasti tekivadki. Lihtne oleks langetada otsuseid, kui oleksime kindlad, et meie maa-alal leidub ainult kahe jäävaheaja jälgi. Kuid on täiesti võimalik, et jäävaheaegu oli rohkem, ning sel juhul jääb jäävaheaegade eristamisel loetletud tunnustest vajaka. Praeguse ni pole näiteks selge, kas Dnepri ja Moskva jäätumised on iseseisvad jääajad või on Moskva jäätumine vaid osa Dnepri jääajast, selle staadium (vt. tabel 2). Paljud uurijad paigutavad Dnepri ja Moskva jäätumise vahele nn. Odintsovo jäävaheaja.

Seda jäävaheaega iseloomustab tüüpläbilõigetes kaks laialeheliste puude maksimumi, mille vahelisel jahedamal ajal Nõukogude Liidu Euroopa-osa loodealadel kasvasid vaevakask, selaginellid ja teised külmalembesed taimed. Seejuures kujunes ülemine laialeheliste puude maksimum kontinentaalsemates tingimustes kui alumine. Leedus oli Odintsovo jäävaheaeg (kohaliku nimega Snaigupele jäävaheaeg) aga hoopis teistlaadsete, Mikulino jäävaheajale lähedaste tunnustega. See sunnib arvama, et nimetatud jääaega ehk ei olnudki ja sellesse ajavahemikku kuuluvateks seteteks loetakse ekslikult rändpangastena Dnepri ja Moskva moreenide vahele sattunud teiste jäävaheaegade setteid, mis mõnikord võivad paikneda isegi vahetult teineteise peal. Kas see tõesti nii on, eks aeg annab vastuse.

Eestis on Odintsovo lademesse (Keskugandi alamkihistusse) loetud taimejäänuseid sisaldavaid jõe- ja järvesetteid Valgutas (24—26 m), Elvas (34—40 m) ja Nõunis (40—54 m sügavuses). Nagu kõnelevad leitud õietolmutterad, oli nende setete tekkeajal valitsev puu mänd (47—77% teradest). Rohkesti kasvas ka kuuski (10—29%), leppi (5—26%), kaski (3—23%) ja kohati isegi sara-puud (kuni 45%). Puude kõrval leidus turba- ja lehtsamblaid, sõnajalgu ja koldasid, pujusid, kõrrelisi, lõikheinu ja maltsalisi. Laialeheliste puude õietolmu leidumine koos suhteliselt külmalembeste rohttaimede jäänustega viitab esimese ümbersetitmise võimalusele ning kõneleb pigem kestva ja jaheda interstadiaali kui jäävaheaja kasuks.

Kõik võib olla nii, aga niisama hästi ka teisiti! Kokkuvõttes võib väita, et leitud jäävaheagseid setteid (Mikulino, Lihvini) silmas pidades on Eestis kindlaid jälgi kolmest jääajast. Kuna Eopleistotseeni ja ka Alampleistotseeni alumise osa setteid meil seni pole kindlaks tehtud, on tegelik jäätumiste hulk loomulikult märksa suurem. Eriilmeliste moreenide leidumise alusel oletame viit jäätumist, kuid sellest põhjalikumalt järgnevates peatükkides.

*Inimene on kahtlemata kõige
huvitavam lollpea, keda üldse
võib ette kujutada Mis tahes
kõige ilmsemast faktist teeb ta tin-
gimata ebaõige järelduse.*

Mark Twain

Isotoobid mõõdavad aega

Ajaloolased ei rahuldu kunagi ainult sündmuste järjestamisega, vaid püüavad ka kindlaks määrata, mis aastal, kuul ja päeval sündmus toimus. Sellise absoluutse kalendriaastates väljendatava täpsuse poole püüdleval ka geoloogid. Appi võetakse kivimeis peituvad radioaktiivsed elemendid, mille teadaolevad poolestus-ajad ning ema- ja tütarelemendi või -elementide hulk kivimis võimaldavad teoreetiliselt üsna täpselt määrata uuritava objekti vanust aastatuhandetes või -miljonites. Rõhutan siinjuures veel kord — teoreetiliselt, sest tegelikkuses on asi hoopis keerukam ja paljudel juhtudel jäävad teaduse viimasele sõnale vastavad füüsikalised uurimismeetodid oma täpsuse poolest klassikalistele geoloogilistele meetoditele tublisti alla.

Ja mis veel hullem, kuigi mitmesuguste füüsikaliste dateerimismeetodite hulk on suur, viimase aastamiljoni uurimiseks sobivad meetodid peaaegu puuduvad. Kõigile hästi tuntud radio-süsiniku meetodit saab näiteks edukalt kasutada vaid noorte, alla 50 000 aasta vanuste setete hindamiseks, uraani ja tooriumi meetodi rakendamiseks puuduvad jäätumisaladel sobivad dateerimisobjektid (sobivaimaks peetakse soojaveelisi korallriffe), termoluminestsentsmeetodi puhul aga ei ole võimalik isotoopkella nullmomenti usaldusväärselt käivitada.

Eks siis ole mõistetav, miks uurijate arvamused nii üksikute jäävaheaegade ja jääaegade kestuse kui ka kogu kvaternaari ajastu vanuse hindamisel lahku lähevad. Selge pole isegi, mis olid pikemad, kas jääajad või jäävaheajad. Nüüdisaja tuntumaid nõukogude paleogeograafe professor Andrei Velitško hindab mõlema kestust ligikaudu võrdses, eraldades kogu kvaternaari ajaskaalast soojadele perioodidele 53% ja külmadele 47%. Enamik uurijaid loeb jäävaheaegu märksa pikemaiks, kuigi ei puudu ka diametraalselt vastupidise seisukoha kaitsjad.

Küllaltki üksmeelselt hindavad eri autorid kõige pikemaajaliseks jäävaheajaks Mindel-Rissi jäävaheaega (M. Milankovitšil

193 000, A. Penckil 600 000 a.), mille kestus on ligikaudu kolm korda suurem Riss-Vürmi (M. Milankovitsil 62 000, A. Penckil 150 000 a.) ja Günts-Mindeli (M. Milankovitsil 67 000, A. Penckil 150 000 a.) jäävaheaegast.

Jääaegadest loetakse kestvaimaks Rissi jäätumist (M. Milankovitsil 54 000, A. Pavlovil 100 000, R. Flintil 295 000 a., kusjuures viimane arvestab Saale ehk Dnepri jäätumise kestvuseks 183 000 ja Varta ehk Moskva jäätumise kestvuseks 112 000 a.). Mindeli (M. Milankovitsil 50 000, A. Pavlovil 100 000 a.) ja Vürmi (M. Milankovitsil 100 000, A. Pavlovil 75 000, R. Flintil 85 000 a.) jääaegade kestus oli enam-vähem võrdne.

Seisukohtade lootusetus korratutes on aeg-ajalt püütud korda luua. Näiteks võib tuua NSV Liidu Ametkondadevahelise Stratigraafia Komitee kinnitatud stratigraafilis-geokronoloogilise skeemi (tabel 2), mis lihtsustatud kujul oleks Eestis leiduvate setete osas järgmine (tabel 3).

Tabel 3

Jääaegade ja jäävaheaegade oletatav kestus

Vanus aastates	Kestus aastates	Lade või alamlade	Sündmus
0— 10 000	10 000	Holotseeni	jäävaheaeg
10 000— 25 000	15 000	Ulemvaldai	jääaeg
25 000— 50 000	25 000	Keskvaldai	jäävaheaeg
50 000— 70 000	20 000	Alamvaldai	jääaeg
70 000—110 000	40 000	Mikulino	jäävaheaeg
110 000—130 000	20 000	Moskva	jääaeg
130 000—180 000	50 000	Odintsovo	jäävaheaeg
180 000—240 000	60 000	Dnepri	jääaeg
240 000—380 000	140 000	Lihvini	jäävaheaeg
380 000—550 000	170 000	Okaa	jääaeg

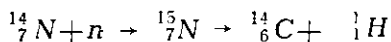
Hoolimata väga autoriteetsest komisjonist, kes 3. tabelis toodud arvud heaks kiitis, ei maksaks siiski ka neisse eriti tõsiselt suhtuda. Olin ise skeemi kinnitamises osaline ja julgen väita, et see seisab veel üpris nõrgukestel savijalgadel. Miks suurenevad jääaegade ja jäävaheaegade kestused tabeli allosa suunas? Eks eelkõige sellepärast, et neist ajalõikudest me teame vähem ja kuidagi peab ju kvaternaarile eraldatud paar aastamiljonit liites ja lahutades kokku saama. Miks on Alamvaldai piiriks 70 000 aastat? Sellepärast, et see on radiosüsiniku meetodi rakenduse piir ja selle lummava arvu lähedusse on koondunud arvukalt (küllap ekslikke) dateeringuid.

Teadlased on üksmeelsed selles, et tabelit tuleks muuta, kuid faktilist andmestikku põhjendatud muutmiseks on veel vähevõitu. Ilmselt tuleb Mikulino jäävaheaja vanust suuremaks pidada. Barbadoose saare selle jäävaheaja korallriffide korduv dateerimine uraani-tooriumi ja uraani-protaktiiniumi meetodil lubab oletada, et Mikulino (Riss-Vürmi, ka Eemi) jäävaheaja kliimaoptimumi vanus on 115 000—128 000 ($120\,000 \pm 5000$) aastat. Sellele lähedasi tulemusi on saadud ka Florida rannikult ja mitmetelt Vaikse ja Atlandi ookeani saartelt, Tallinnas tehtud luminesentsanalüüsi alusel ka Lääne-Norrast.

Kas on lootust, et olukord lähitulevikus paraneb? Vaevalt küll. Hinnakem kahe kõige perspektiivsema meetodi, radioüsiniiku ja termoluminesentsi meetodi võimalusi. Mõlemast on kirjanduses korduvalt juttu olnud, kuid toogem veel kord välja nende põhiolemus ja teoreetilised alused.

Süsinikumeetod võeti kasutusele kohe pärast Teist maailmasõda. Esimesed loodusliku radioaktiivse süsiniku määramised tegi ameeriklane W. F. Libby 1946. aastal, 1960. aastal omistati talle uue dateerimismeetodi väljatöötamise eest Nobeli preemia.

Teatavasti mõjustab Maad pidevalt kosmilise kiirguse voog, mille mõjul atmosfääri ülaosas moodustunud neutronid mõjustavad atmosfääri lämmastikuaatomeid, tekitades süsiniku ebapüsiva isotoobi massiarvuga 14. Kaasneb ühe prootoni eraldumine:



Eeldusel, et viimastel aastatuhandel on neutronivoog jäänud praktiliselt püsivaks, on muutumatu olnud ka ${}^{14}\text{C}$ tekkimise intensiivsus. Kuigi radioaktiivset süsinikku on ainult 1 aatom 10 miljardi stabiilse süsinikuaatomi kohta, leidub seda looduses siiski oma 80 tonni. Atmosfääris tekkinud ${}^{14}\text{C}$ moodustab hapnikuga reageerides süsihappegaasi, mis jaotub ühtlaselt õhus ja ookeanivees, kuid satub fotosünteesi käigus ka taimedesse ja sealt edasi loomadesse. Taime või looma surma järel hakkab süsihappegaasi hulk tasapisi, kuid kindla kiirusega vähenema. Et ${}^{14}\text{C}$ poolestusaeg on 5570 aastat, siis väheneb selle hulk uuritavas objektis nimetatud aja jooksul poole võrra. Esemee vanuse määramiseks on seega vaja mõõta proovis säilinud ${}^{14}\text{C}$ hulk ning võrrelda seda algmomendil sisaldunud ${}^{14}\text{C}$ hulga. Meetodi kasutamise reaalseks vanusepiiriks on 50 000—55 000 aastat, sest vanemate proovide korral on ${}^{14}\text{C}$ jääkkogust juba liiga raske määrata.

Kuid radiosüsiniku meetodil on mitmeid tõsiseid puudusi, mistõttu jääaja setete kohta on kergem saada ekslikke kui usaldus-

väärseid tulemusi. Nimetagem siin nooremate puujuurte tungimist ammulaadestunud settesse või proovi «vana» süsinikuga saastumise ohtu, mis on eriti suur karbonaatsel aluspõhjal, näiteks Eestis. Keemikud on küll osavad proovi puhastama, kuid ometi on sellelgi tööel reaalsed piirid. Igal juhul ei õnnestu määratavalt objektilt eemaldada sellist hulka kõrvalist ^{14}C , mis vastab vanusele umbes 73 000 aastat. See vanus saadi näiteks kivisöeajastu antratsiidi dateerimisel, milles radioaktiivset süsinikku üldsegi ei tohiks leiduda.

Eriti ohtlikud on moonutused, mida ei saa puhastusega vältida. Üks selline on nüüdisaegsest erinev algradioaktiivsus. Viimase saja aasta jooksul on ^{14}C kontsentratsioon tööstuse mõjul oluliselt muutunud. Paiskavad ju tehasekorstnad igal aastal atmosfääri umbes miljard tonni süsihappegaasi, milles radioaktiivne süsinik hoopiski puudub. ^{14}C looduslikku tasakaalu on rikkunud ka aatomipommide plahvatused, mistõttu meie kaugemad järeltulijad ei saa enam kasutada radiosüsinikul baseeruvaid kelli. Kuid radioaktiivsuse kõikumisi on põhjustanud ka näiteks Päikese aktiivsuse muutused. Raske on arvutada ookeanides lahustunud ja troposfääris ringleva süsiniku hulka, sest see sõltub nii kliimast kui ka ookeani veetasemest. Ka atmosfääris esineb süsinik ebaühtlaselt, tema hulk erineb oluliselt mereäärsetel ja mandrisisestel aladel. Äärmiselt objektiivne professor W. F. Libby rõhutas korduvalt, et tema väljatöötatud meetod on hästi kasutatav jääajajärgsete probleemide lahendamisel, kuid juba 40 000 aasta vanuste objektide määramine ei või enam sugugi kindel olla. Loodus on kapriisne.

Veelgi suuremad ja vist lahendamatud probleemid on seotud termoluminestsentsi meetodiga, mille esmakordselt võttis kasutusse G. K. Kennedy 1960. aastal. See meetod on väga perspektiivne vana keraamika dateerimisel, s. t. arheoloogias, kuid geoloogias on selle võimalused veel üsna ähmased.

Põhimõtteliselt on meetod lihtne. Temast arusaamiseks tuleb piltlikult ette kujutada aatomituuma koos selle ümber tiirlevate elektronidega. Igal elektronil on teatavasti oma kindel orbiit ja et üle minna kõrgema energeetilise nivooga orbiidile, peab ta saama teatava energiaannuse, mille allikaks võib olla näiteks radioaktiivne kiirgus. Ergastatud elektron reeglina ise madalamale nivoole tagasi ei pöördu, ka selleks on teda vaja mõjutada, näiteks termilisel teel. Põletamisel sai savipott edasiseks uurimiseks vajaliku nullpunkti kindlalt kätte. Hiljem maapõues lebedes hakkab pott või selle kild ümbritsevate setete radioaktiivsuse mõjul uuesti energiat koguma. Kui nüüd keraamikaproovi aatomid pärast poti väljakaevamist viia tagasi statsionaarsesse olekusse ning eraldunud valguskvandid spetsiaalsete uurimissead-

mete abil kokku lugeda, saame hõlpsasti arvutada eseme vanuse. Selleks peame teadma ka radioaktiivse kiirguse intensiivsust ning suhet saadud radioaktiivse kiirituse ja väljuva termoluminestsentsi kiirguse vahel, mis on kergesti leitavad.

Meetod on väga huvipakkuv, kuna ta võimaldab dateerida esemeid kogu kvaternaari ulatuses (mõnede uurijate arvates kuni 10 miljonit aastat tagasi, tõenäoliselt siiski vähem) ning ka uuritavaid mineraale, kvartsi ja päevakive võib looduses kõikjalt leida. Ometi peame esialgset vaimustust jahutama, sest looduses ei esine ulatuslikku «potipõletamist», mis võiks aine elektronid täielikku nullseisu viia. Erinevates laboratooriumides on tehtud arvukalt katseid looduslike protsesside jälgendamiseks, kuid täiesti rahuldavaid tulemusi pole seni saadud. Liustikus esinev suur rõhk nullseisu viimist ei kindlusta. Põhiliste teguritena tulevad ikka arvesse kas soojus- või ultraviolettkiirgus, eriti viimane, sest mõõduka kliimaga aladel ei ole soojuskiirgus elektronlõksude tühjendamiseks ilmselt kusagil piisav. Laboratoorsed katsed näitavad, et tavalises keskmistele laiuskraadidele omases hajutatud päikesevalguses kaotab kvarts poole salvestatud valgussummast mõne päeva jooksul. Kuid kas see on piisav? Eesti NSV Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituudis koguti ja analüüsiti proove nüüdisrannalt, kuid ikkagi ulatus nende näiline vanus tuhandetesse aastatesse. Veelgi keerukam on jõesetete vanuse määramine, sest seal võib osakeste kuhjumiskiirus olla väga erinev. Hoopis võimatu paistab aga olevat moreenide dateerimine, sest paljud põhi-moreeni erimid ei ole kunagi päikesevalgust näinud. Otsingud jätkuvad. Kõige perspektiivsemad dateerimisobjektid näivad olevat tuulesetted — lössid ja luiteliivad, liustikutekkelistest setetest aga deltaliivad. Kuid nendegi puhul on täielik nullmomendi saavutamine väga küsitav. Pealegi ei oska me veel modelleerida informatsiooni säilimist, garanteerida aine migratsiooni puudumist ning selgitada mullatekke- ja murenemisprotsesside mõju. Geoloogia Instituudis tehtud erinevate mullahorisontide uurin-gud on näidanud, et salvestunud valgussummad ja seetõttu ka profiili eri osade näilised vanused olid erinevad.

Niisiis ei saa termoluminestsentsdateeringuid praegu veel piisavalt usaldusväärseiks pidada. Aga mida teha? «Oodata!» vastaks Švejk.

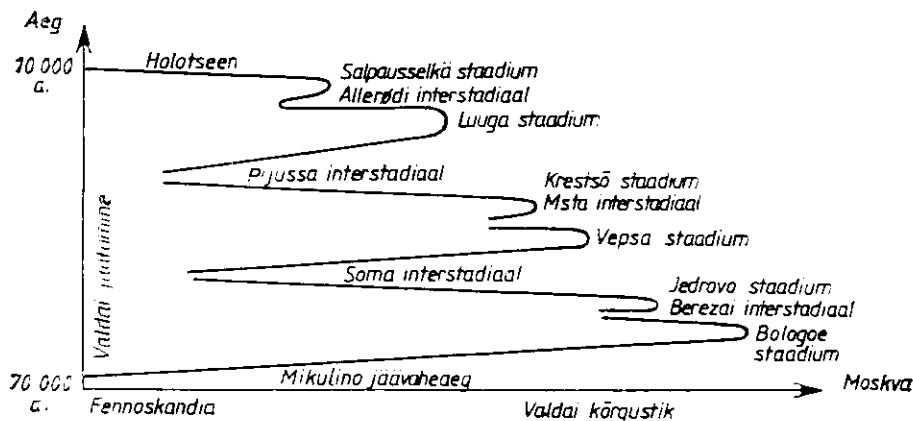
*Ammugi põgenes põhja
igijää vesimärg händ
ammugi tarretus paika
raudsete rahnude ränd
ammugi enam ei prahva
jäälaama murdumiskaja
jätkuva ykskõiksusega
rändrahnud rändavad ajas*

Peep Ilmet

Viimane jääaeg ja liustike taandumine

Mida kaugemasse minevikku, seda ähmasemad on meie teadmised. Kuid oletused kauge möödaniku kohta on raskesti kontrollitavad ja nii kaovadki eemalt vaadatuna vasturääkivused ja puudujäägid. Lähedalt paistavad lüngad ning eksimused paremini silma, seetõttu on vaidlused lähisündmuste ümber sageli hoopis teravamad. Oeldu kehtib ka viimase jäätumise kohta, mille osatähtsus Eesti pinnamoe ja pinnakatte kujunemisel on kõigist eelnenuist märksa suurem. Viimasest mandrijääst lihvitud pinnavormid ja mahajäetud setted on valdavaks ehitusaluseks, muldade emakiviks ja kohalike ehitusmaterjalide allikaks. Nad jaotavad sademed pinna- ja põhjaveeks ning määravad taimkatte leviku. Seepärast huvituvad viimase mandrijää taandumisest väga erinevate töö- ja teadusalade esindajad. Harva esitatakse küsimusi viimase jääaja alguse ja kestuse kohta. Enamik lugejaid ehk ei teagi, et ka sellele, näiliselt lihtsale küsimusele ei oska me täpset vastust anda.

Lähtudes Nõukogude Liidus ametlikult kehtivast kvaternaari ajastu jaotusest oli hiliskvaternaaris vaid üks jäävaheaeg, mida Smolenski oblastis Mikulino külas asuva tüüplõike järgi nimetatakse Mikulino jäävaheajaks. Ajavahemikku selle jäävaheaja lõpust kuni Holotseeni ehk pärastjääaja alguseni (10 000 aastat tagasi) tuleb seetõttu käsitleda viimase jääajana. Kuid vaevalt oli kogu põhjapoolkeral selle 60 000—80 000 aasta pikkuse vahemiku jooksul pidevalt ühtlaselt karm kliima. On ju teada, et sõltuvalt Maa orbiidi muutustest, atmosfääri ja Päikese olekust jms. kliima korduvalt soojenes ja jahenes. Peale päevasiseste, ööpäevaste, sesoonsete ja aastarütmide eristatakse veel kliimariitmide kestus-



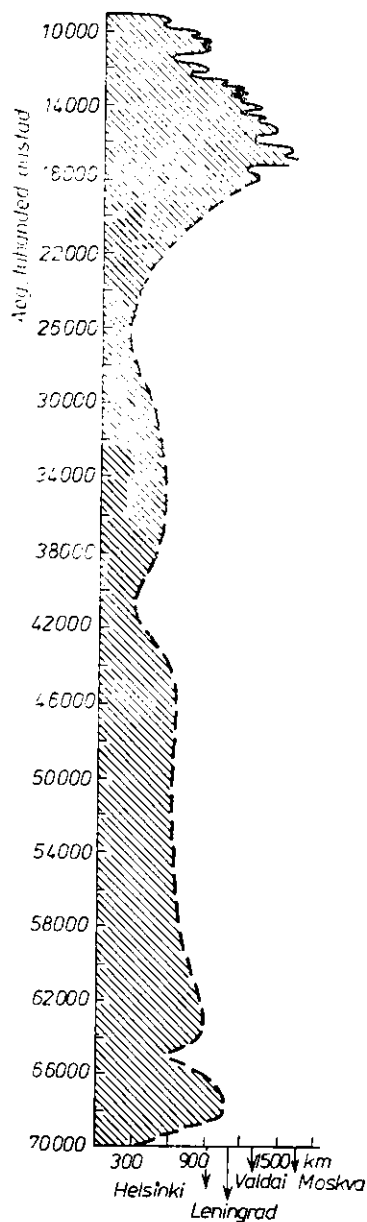
Joonis 24. Paarkümmend aastat tagasi valitses kvaternaargeoloogide seas arvamus, et viimase jäätumise liustikud taandusid aeglaselt edasi-tagasi pendeldades. Joonisel on Leningradis töötava eesti kvaternaargeoloogi Evald Sammeti skeem 1961. aastast.

sega 3,5—6, 10—11, 22, 35, 50—56, 80, 111, 170—200, 1500—2200, 13 500—29 000, 41 000 jne. aastat, mis kahtlemata mõjutasid liustike käitumist, sundides neid vallutatud aladelt tagasi tõmbuma ja seejärel uuesti edasi rühkima.

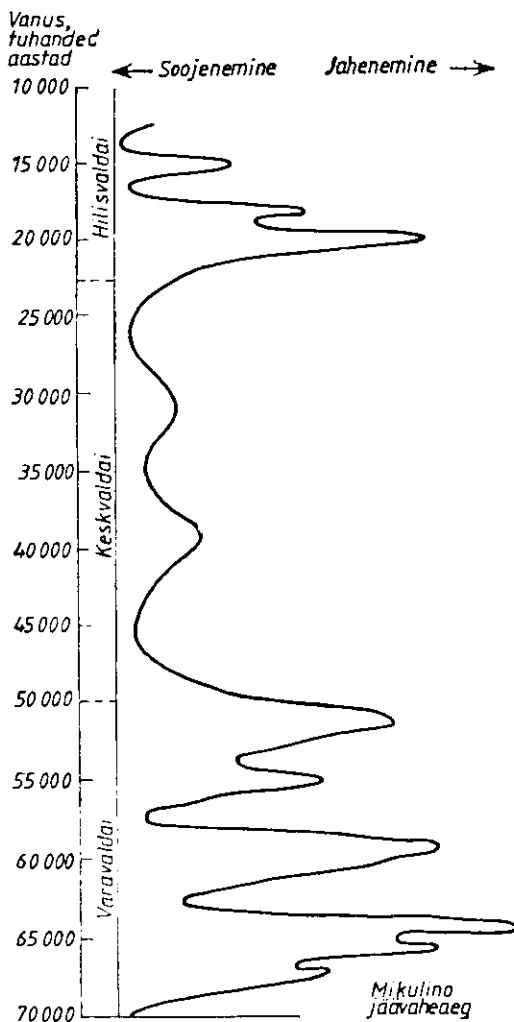
Mandrijää pealetungi ja taandumise käigus esinenud ulatuslikke ja kestvaid (rohkem kui paarsada aastat) jää pealetungi-etteppe nimetatakse staadiumideks, nende vahelisi soojaperioode aga interstadiaalideks. Viimased olid nii lühiajalised ja jahedad, et ei põhjustanud kogu liustiku sulamist ja jäätumiskeskuseni taandumist. Staadiumidest veelgi lühemaajalisi jääserva edasi-tagasi liikumisi nimetatakse ostsillatsioonideks. Neil ajalõikudel jääst vabanenud aladel kasvas üksnes kidur tundrataimestik.

Viimase mandrijää tumise dünaamika kohta on loodud neli printsiipsaalselt erinevat mudelit. Esimese kohaselt oli Põhja-Euroopa kogu hiliskvaternaari vältel jääga kaetud ja väheolulised jääserva pendeldamised toimusid ainult liustiku serva lähedal, näiteks Leedus ja Valgevenes. Umbes 20 000 aastat tagasi algas jää kiire sulamine ja taandumine kogu Põhja-Euroopas.

Ka teise mudeli kohaselt jõudis liustik kiiresti oma maksimumaalsele levikualale, millega kaasnesid põhjapoolkera miinimumtemperatuurid. Seejärel hakkas kliima järk-järgult paranema ja liustikuserv aeglaselt pendeldades taanduma (joon. 24). Et jää taandumine toimus kliima üldise paranemise foonil, ei katnud



Joonis 25. Moskva kvaternaargeoloogi geograafiadoktor Nina Tšebotarjova arvates saavutas viimase jäätumise liustik oma maksimaalasendi võrdlemisi hiljuti, ligikaudu 20 000 aastat tagasi, millele järgnes jää uute ajutiste pealetungidega vaheldunud taandumine. Valdava aja Valdai jäätumisest olid Baltimaad tema arvates jäävabad.



Joonis 26. Praegu on kõige populaarsem hüpotees, mille kohaselt hiliskvaternaaris oli kaks iseseisvat jäätumist või selle suurt staadiumi, millest maksimaalse ulatusega oli esimene — Varavaldai ehk Kalinini jäätumine. (Skeemi autorid on geoloogiadoktor I. Krasnov ja geoloogiakandidaat J. Zarrina Leningradist.)

liustik uutel jahenemistel enam kogu jääst vabanenud ala, vaid ainult osa sellest, vabastades jäävangistusest üha uusi alasid.

Kolmanda mudeli kohaselt võttis liustiku kasv ja pealetung väga kaua aega ning peaaegu kogu jääaja jooksul olid Baltimaad

jäävabad (joon. 25). Maksimaalse ulatuse saavutas liustik selle hüpoteesi kohaselt alles võrdlemisi hiljuti, ligikaudu 20 000 aastat tagasi. Järgnes liustiku aeglane stadiaalsete ja ostsillatoorsete pealetungidega vaheldunud taandumine.

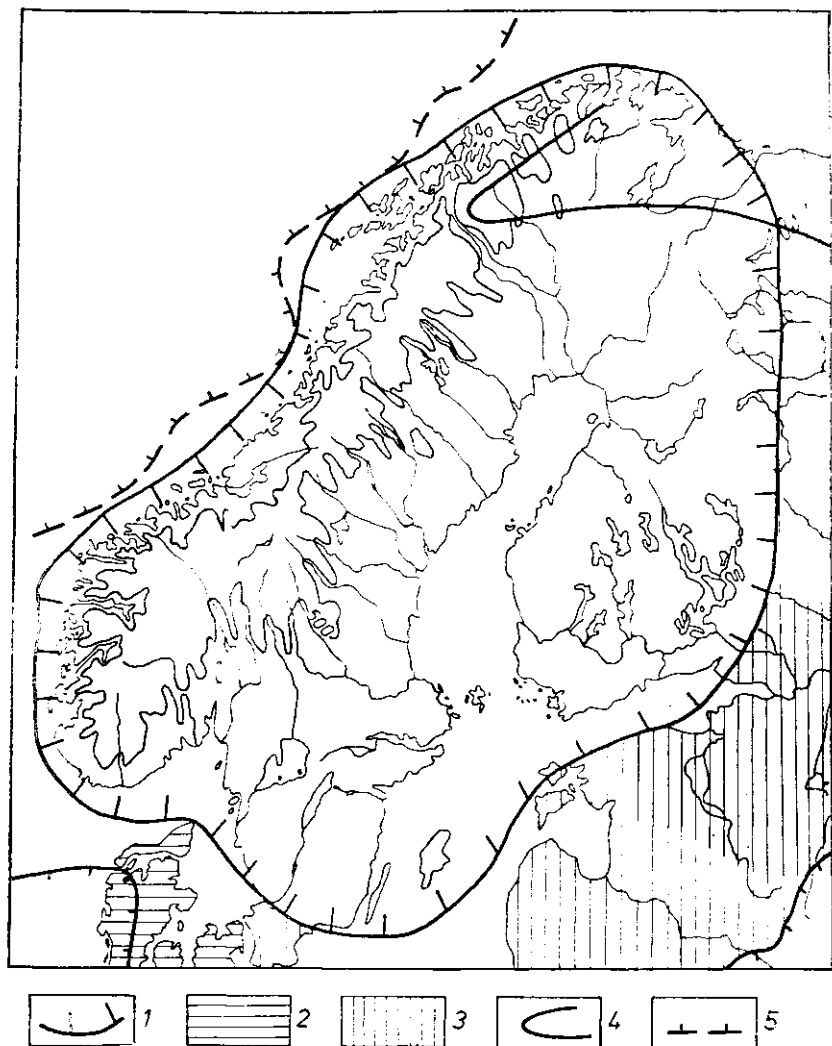
Neljanda, praegu kõige populaarsema hüpoteesi kohaselt, mille üks põhjendaja oli ka käesoleva raamatu autor, esines hiliskvaternaaris kaks iseseisva jäätumisenähtust vaadeldavat jää pealetungi, millest maksimaalse ulatusega oli esimene, Varavaldai ehk Kalinini jäätumine (joon. 26). Kahe külmaperioodi vahele jäi ligikaudu 25 000 aastat kestnud soojaperiood, mida mõned uurijad käsitlevad pikaajalise ja kestva Keskvaldai megainterstadiaalina, teised aga Mologa-Šeksna jäävaheajana. Nagu igal populaarsel hüpoteesil, on ka sellel hüpoteesi tasemel oleval mudelil mitmeid allmudeleid. Ühe kohaselt ei olnud maksimaalne Varavaldai, vaid Hilisvaldai jäätumine. Vastavalt sellele Varavaldai liustik meie koduvabariiki ei katnud, vaid jõudis ainult Põhja-Eesti paekaldani (joon. 27). Eesti oli kidura tundrataimestikuga igikeltsaala.

Teise allmudeli kohaselt ei olnud Valdai jäätumise ajal kõige soojem mitte Keskvaldai, vaid Varavaldai esimene pool umbes 80 000 a. tagasi. Seda väidet toetavad korallriffide ja rannikuterasside ning liustikukärnide hapnikuisotoopide suhtvahekorrad uurimise põhjal koostatud ookeanitaseme muutuse kõverad (joon. 28), kuigi neid vaevalt saab usaldusväärseks lugeda.

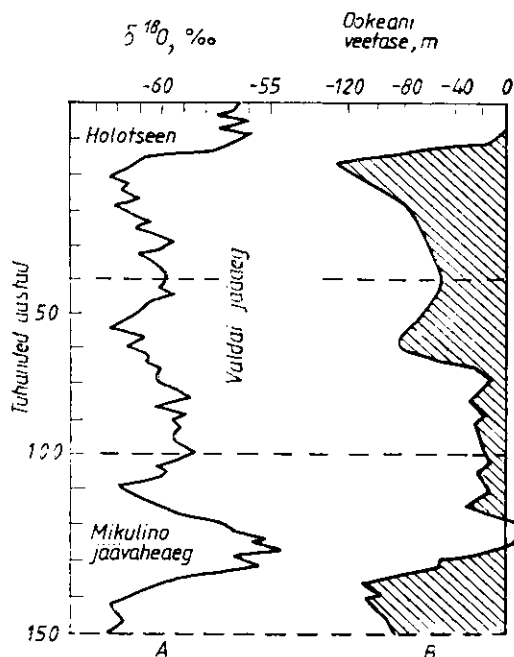
Hilisvaldai külmalaine miinimumtemperatuurid olid kõige tõenäolisemalt umbes 20 000 aastat tagasi, mil liustik kattis Baltimaad ja ulatus Valdai kõrgustikuni. Sellest ka jäätumise nimetus. Ookeanitase oli tollal umbes 120 m nüüdisaegsest madalam (joon. 28), sest suur hulk veest oli koondunud mandriliustikesse.

Praegu on jää kogumaht maakeral 27–30 miljonit km³. Kui see tohutu, peamiselt polaaraladele koondunud jääkilp ühtlaselt kogu maakera pinnale jaotada, saaksime 53 m paksuse kihi. Selle jääkihi sulamisel tõuseks maailmamere veetase 64 m võrra ja uputaks ligikaudu 15 miljoni km² suuruse maa-ala. See oleks rohkem kui $\frac{2}{3}$ Nõukogude Liidu territooriumist. Ka suurem osa Eestist jääks vee alla (joon. 29). Seda silmas pidades on mereäärsetel rahvastel põhjust Maa kliima parandamise projektidesse üsnagi skeptiliselt suhtuda.

Viimane arvutus on õige, kuid ookeanitaseme varasemaid muutusi on raskem määratleda. Selgi juhul, kui loeksime õigeks saadud isotoopdateeringud, ei oska me arvesse võtta maakoores kõikumisi, sest aastatuhandete jooksul on uuritavate terrasside kõrgus oluliselt muutunud. Vaatamata teatud erinevustele, võib peaaegu kõigilt saadud kõveratelt näha kliima soojenemisele viitavat ookeanitaseme tõusu umbes 25 000–50 000 aastat



Joonis 27. Mõnede autorite arvates ei suutnud Varavaldai liustik ületada Põhja-Eesti paekallast ja Eesti oli sel ajal kidura taimestikuga igikeltsaala. Tingmärkidega on tähistatud: 1 — liustiku levik Varavaldais, 2 — atlantilist tüüpi igikelts, 3 — üleminekulist tüüpi igikelts, 4 — praeguse igikeltsaala lõunapiir, 5 — viimase jäätumise maksimaalne ulatus Hilisvaldais. (Koostanud geograafiadoktor Andrei Velitsko.)

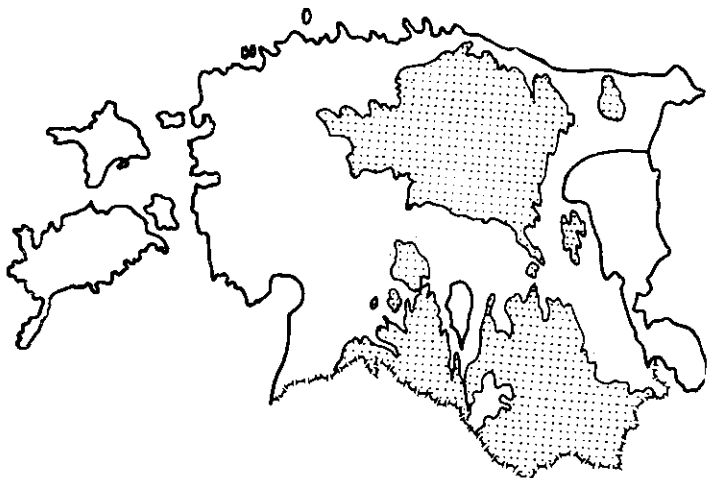


Joonis 28. Antarktikas uurimisjaamas «Vostok» uuriti hapniku isotoope liustiku-kärnis ja koostati nende põhjal paleotemperatuuride kõver (A) ning oletatavad ookeani veetaseme muutused viimase 150 000 aasta jooksul (B) (V. Kotljakovi, M. Grossvaldi ja A. Krenke andmetel).

tagasi (joon. 28), mis toetab käesolevas töös aluseks võetud neljandat mudelit.

Võtame nüüd lähema vaatluse alla need aastatuhanded, mil jää taandus Eestisse ja sealt edasi Soome. Väikese pindala tõttu on Eestisse koondunud liiga vähe pidepunkte jääserva täpse taandumisaja määramiseks. Seetõttu peame paratamatult tegema kõrvalepõikeid naaberaladele, kus mitmeid sündmusi on paremini uuritud.

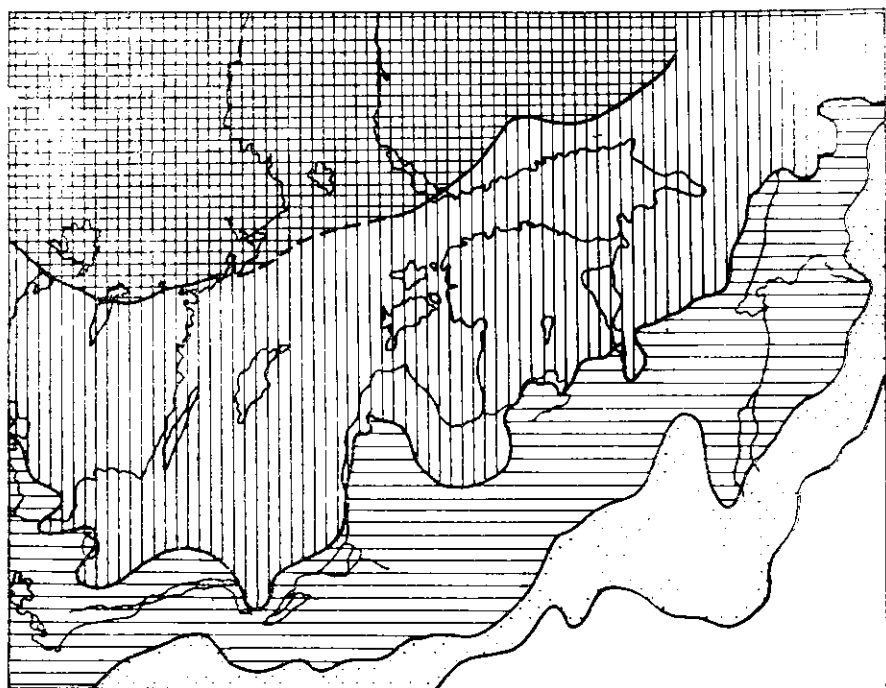
Tuntud Rootsi teadlane G. De Geer jagas viimase mandrijää taandumise kolmeks etapiks: dani- (18 000—15 000), goti- (15 000—10 000) ja finiglatsiaaliks (10 000—8000 aastat tagasi) ning piiritles juba sajandi esiveerandil üsna täpselt Rootsi eri paikkondade vabanemise mandrijääst. Selleks kasutas ta eeskätt viirsavide aastakihtide e. varvide jälgimist, nn. varvomeetriat. Hiljem on sellele võimsa abimehena lisandunud radiosüsiniku meetod. Viimasel, nagu me juba eespool nägime, on aga omad puudused. Dateeritav materjal võib olla saastunud kas noorema või vanema süsinikuga. Tulemuse võib vääraks muuta üsna tühine lisand teisevanuselist radioaktiivset süsinikku. Näiteks kui kõigest 1% nüüdisaegset süsinikku satub 50 000 aasta vanusesse proovi, hin-



Joonis 29. Kui polaaraladele koondunud jääkilp mingil põhjusel sulaks, tõuseks maailmamere veetase 64 m võrra ja uputaks ligikaudu 15 000 000 km² suuruse maa-alala. Ka suurem osa Eestist jääks vee alla, veest jääks välja vaid täpitatud ala.

dame me selle otsekohe 20 000 aasta võrra nooremaks. Kuid sademete, põhjavee ja puujuurte kaudu võib noorem süsinik alati setetesse kanduda. Saastumisest tingitud eksitusi aitab vältida samast kihist pärineva erineva materjali (näiteks puidu ja turba) või fraktsiooni (näiteks tselluloosi ja ligniini) dateerimine. Kuid veelgi halvem on see, et Eestist on seni teada väga vähe dateerimiseks sobivaid moreenidevahelisi ja hilisglatsiaalsete organogeensete setete leiukohti. Vähe on neid mujalgi, seetõttu on peatüki järgnevas osas varvomeetria ja radiosüsiniku meetodi andmetel esitatud aastad veel provisoorsed.

Koos geograafidoktor Leonid Serebrjannõiga tõestas käesoleva töö autor, et G. De Geeri mandrijää taandumise skeemi saab edukalt kasutada kogu Ida-Euroopa lausmaal, kui mõneti muuta dani- ja gotiglatsiaali vahelist piiri (joon. 30). Sellega nõustusi ka rootsi uurijad. Kliima ja mandrijää paksuse erinevuse tõttu toimus liustiku sulamine ja pinnamoe kujunemine dani- (näiteks Leedus), goti- (Eestis) ja finiglatsiaalis (Lõuna-Soomes) printsiipsaalselt erinevates tingimustes. Soomes on esikohal radiaalsed irdjäävormid (eeskätt oosid), Leedus aga kuhjusid võimsad marginaalsed künnised ja aluspõhja uuristusi sügavad põikorud, uurströöm. Gotiglatsiaalis oli liustik oma aktiivsuse säilitamiseks veel piisavalt paks, kuid selle liikumine kohandus juba olulisel määral aluspõhja liigestatud reljeefiga (joon. 31).



Joonis 30. Viimase mandrijää taandumist on otstarbekas jagada kolmeks suureks etapiks: 1 — fini-, 2 — goti- ja 3 — daniglatsiaaliks. Autori ja geograafia-doktor Leonid Serebrjannõi hinnangute kohaselt hõlmas esimene ajavahemiku 7500—10 000, teine 10 000—13 000 ja kolmas 13 000—20 000 aastat tagasi. Täpi-tatud ala (4) vabanes mandrijääst arvatavasti Varavaldaits.

Erinev oli ka jää taandumise kiirus ning liustiku pindmise ja frontaalse sulamise osatähtsus. Esialgu, karmis kliimas, taandus jää võrdlemisi aeglaselt, vähem kui 100 m aastas. Gotiglatsiaalis, mil lisaks Eestile vabanesisid jääkattest ka Põhja-Läti, Lõuna-Rootsi ja Läänemere nõo keskosa (joon. 30), oli mandrijää keskmine taandumiskiirus juba suurem, 120—150 m aastas. Finiglatsiaalsel taandumisetapil, mil mandrijää oli glatsioloogide arvates poole õhem kui gotiglatsiaali alguses, sulas jää veelgi kiiremini, 300—400 m aastas. Jääst jäid maha sadade ja isegi tuhandete ruutkilomeetrite suurused toitealaga ühenduse kaotanud irdjää väljad.



Joonis 31. Viimase mandrijää liustike liikumine Eestis kohandus olulisel määral **aluspõhja** liigestatud reljeefiga, millele viitavad jääkriimud (4) ja piklike veeriste suund moreenis (5). Kujunesid liustikukeeled (*Pe* — Peipsi, *V* — Võrtsjärve, *Pä* — Pärnu, *Pa* — Paldvere, *S* — Saaremaa) ja jäälahkmealad. Kriipsutusega (2) on ümbritsetud liustikutekkelised saarikõrgustikud, punktiringa (3) aluspõhjalised kõrgustikud, rooma numbritega mandrijää servamoodustiste vööndid (I); 1 — Haanja (kujunes umbes 13 000 aastat tagasi), II — Otepää (12 600 a. l.), III — Sakala (12 250 a. l.), IV — Paldvere (12 050 a. l.) ja V — Paldvere (11 200 a. l.).

Murranguliseks momendiks mandrijää taandumise käigus tuleb lugeda Luuga ehk Haanja staadiumi mandrijää servamoodustiste kaare kujunemist, mis peaaegu katkematu ahelikuna kulgeb Edela-Leedust üle Kurzeme, Vidzeme ja Haanja kõrgustiku Laadoga ning Äänisjärve lähistele, teispoole Läänemerd aga jätkub Lõuna-Rootsi servamoodustistena. Silmas pidades Luuga staadiumi moreeni all oleva Rauna interstadiaali setete vanust Ratzeni talu juures Põhja-Lätis ($13\,390 \pm 500$ ja $13\,250 \pm 160$) ning Luuga staadiumi moreeni peal oleva Kurenurme läbilõike organogeensete setete vanust ($12\,650 \pm 500$) Kagu-Eestis, saab järeldada, et see dani- ja gotiglatsiaali vahelist piiri tähistav servamoodustiste kaar kujunes umbes 13 000 aastat tagasi. Seega vabanes Eesti äärmine kaguosa, sealhulgas ka Haanja kõrgustiku kesk- ja lõunaosa, jääkattest lõplikult juba umbes 13 000 aastat tagasi. Loomulikult püsisid kõrgustikul ja selle ümbruses veel pikka aega irdjää pangad, mis osaliselt mattununa võisid kohati tuhandeid aastaid säilida. Toogem võrdluseks A. Seibutise andmed. Tema arvates jätkus irdjää pankade sulamine Leedu territooriumil isegi veel varases Holotseenis, umbes 8600 aastat tagasi.

Rauna interstadiaali ajal oli kliima tänapäevasest tunduvalt jahedam ja kontinentaalsem. Vidzeme kõrgustikul ja Ilmeni järve ümbruses kasvasid kase- ja männimetsad. Kohati leidus ka kuuske ning madalamatel aladel leppa, rohttaimedest olid valitsevad vähenõudlikud stepi- ja tundraliigid: pujud, maltsalised, selaginellid jt. Kui kaugele liustik Rauna interstadiaali ajal taandus, on raske ütelda, kuid on võimalik, et Lõuna-Eesti oli osaliselt jääkattest vaba. Sellele osutavad interstadiaalsed moreenidevaheliste setete leiukohad, kus lisaks taimejäänustele leidub maismaatigude kodasid või nende fragmente (*Pisidium* sp., *Radix peregra* jt.).

Eesti lõplik vabanemine mandrijääst toimus üsna nobedasti. Selleks kulus kõigest 2000 aastat. Liustiku taandumine ei olnud pidev, esines pikemaajalisi jääserva seisakuid ning ajutisi uusi pealetunge. Eriti kestvalt peatus liustik aluspõhjaliste kõrgustike ja eelnenud jäätumiste ajal kujunenud settekuhjatiste ees. Mõnes kohas peatus jääserv ka suurte vagumuste veerudel.

Jää kestvamaid seisakuid ja ajutisi pealetunge tähistavad Eestis viis vallide, seljakute, künniste ja küngastega markeeritud mandrijää servamoodustiste vööndit: Haanja, Otepää, Sakala, Pandivere ja Palivere (joon. 31).

Nagu öeldud, sõltus mandrijää liikumine oluliselt jääalusest reljeefist. Nii tekkisid jäälahkmealad ja liustikuvoolud. Viimastest suurimad olid Läänemere ja Peipsi jäävool, mille vahele jäi Pandivere jäälahkmealad. Aluspõhja reljeefist ja liustiku sise-dünaamikast sõltuvalt kujunesid liustikuvoolude piires omakorda

väiksemad liustikukeeled ja nende jäälahkmealad. Et väikesi liustikukeeli ja -keelekesi oli palju, võis jää kohalik liikumine olla väga eripalgeline (joon. 31). Nende liikumiste selgitamiseks on mitmeid meetodeid. Indikaatoriteks on meie karbonaatsel aluspõhjal jääkriimud, -kündeavad ja -hõõrdejäljed, mida on põhjustanud liustiku põhjamooreenis olevad teravaservalised kivid, ning aluspõhja kivimites esinevate kõvade suletiste tekitatud ihkkeeled — ümbritseva kivimi kulutuse käigus suletiste taha kujunenud keeletaolised harjad.

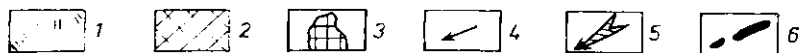
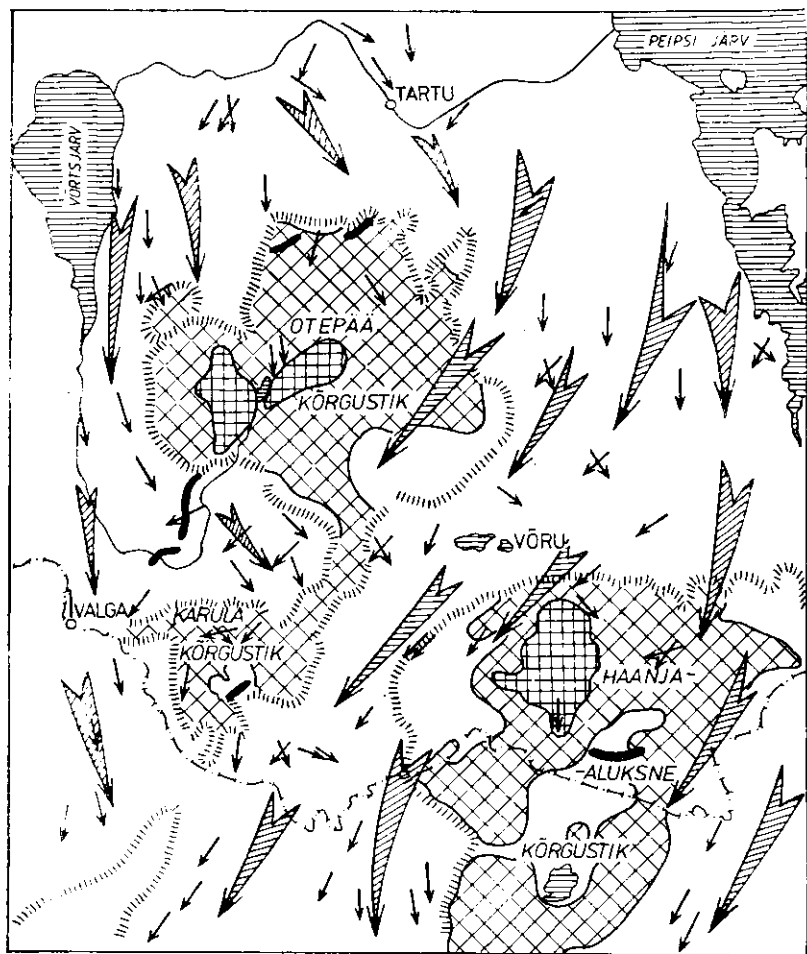
Lõuna-Eesti liivakivilisel pehmel aluspõhjal jääkriime ei ole. Siin aitavad meid välja moreenis seaduspäraselt paiknevad piklikud veerised. Kaua arvati, et mandrijääga kaasakantavad veerised ja rahnud asetsevad jääs täiesti kaootiliselt, korrapäratult. Hiljem on selgunud, et liustikus kaasakantavad osised, isegi liivaterad, püüavad võtta kõige energiavaesemat asendit, mille tulemusena nad paigutuvad pikiteljega jää liikumise suunas. Pärast liustikujää sulamist selline kivimiosakeste asetus harilikult säilib. Herbert Viidingu uurimised on näidanud, et põhimoreeniga kaetud aladel on ka pindmiselt asetsevad pikliku kujuga rahnud paigutunud mandrijää tõenäolise liikumise suunaga paralleelselt. See seaduspärasus ei paista niivõrd silma vahetult looduses, kui võrd suurema hulga analüüside statistilisel läbitöötamisel.

Jää liikumise suunda näitavad ka liustike väljavoolitud vored, jäälõhedesse kuhjatud radiaalsed vallseljakud (pikioosid) ning mandrijää servamoodustiste endi konfiguratsioon. Need koos ongi võimaldanud üsna usutavalt rekonstrueerida jää liikumist liustiku erinevate staadiumide vältel (joon. 31).

Eesti kaguosas, kus aluspõhja pealispind Haanja ja Otepää kõrgustike näol oli kõrgem, takistus jää liikumine kõigil jäätumistele ning sinna kuhjus järjest paksem settelasund. Kõrgustikud kasvasid peamiselt liustiku pealetungipoolsel küljel, sest nüüdis-kõrgustikud asetsevad aluspõhja kõrgustikest põhja ja loode pool.

Varem vaadeldi Haanja ja Otepää kõrgustikku mandrijää servamoodustistena. Hiljem selgus, et servamoodustised on ainult väiksemad kuhjevormid nende suurvormide liustikupoolsel ehk proksimaalsel nõlval (näiteks Otepää kõrgustiku servaalal Kambjas ja Tamsal). Kõrgustike enda kujunemine on hoopis keerukam. Praegu nimetatakse selliseid liustikukeelte vahel kujunenud kõrgustikke nende isoleeritud saarekujulise paiknemise tõttu tasandike suhtes kuhjelisteks saarkõrgustikeks. Nende kujunemist vaatleme hiljem.

Haanja kõrgustiku joonelt taandumise järel peatus liustikuserv pikemat aega Otepää kõrgustiku põhjapiiril. Sel ajal kujunes Võrtsjärve ja Võru-Hargla jääkeelte vahel künklik Karula kõrgustik. Too liustikukeelte vaheline kuhjevormistik sai kujuneda



Joonis 32. Lõuna-Eesti kõrgustikud kujunesid viimase jääaja lõpul erisuunaliste liustikukeelte vahel kuhjevormidena: 1 — kõrgustiku piir, 2 — kesk- ja väikekünklik reljeef, 3 — suurkünklik reljeef ja lavamõhnad, 4 — peamine veeriste suund moreenis, 5 — liustike liikumissuund, 6 — otsamoreenid. (Koostanud Reet Karukäpp.)

tänu Otepää kõrgustiku kohal olnud jäälahkmealale (joon. 32). Teine aktiivne jääkeel liikus mööda Pihkva järve nõgu, moodustades survealiste otsa- ja servamoreanide vöö Kulje, Lisje ja Budovištši poolsaare, Kamenka ja Talapsi saarte ning Jelizarovo kohal. Seega, ajal kui aktiivne jää tasandikulistel aladel veel toimis, oli see Otepää kõrgustiku piires juba kas «surnud» või passiivses olekus. Jääpankade vahel olid kõrgustikul kohalikud jääpaisjärved, kus kuhjusid viirsavid. Nendes leidub kohati arktiliste taimede ja külmalembeste limuste kodasid. Nõuni leiukohas on neid setteid dateeritud. Saadud vanus $10\,900 \pm 110$ aastat näitab, et jääpaisjärved püsisid Otepää kõrgustikul kaua.

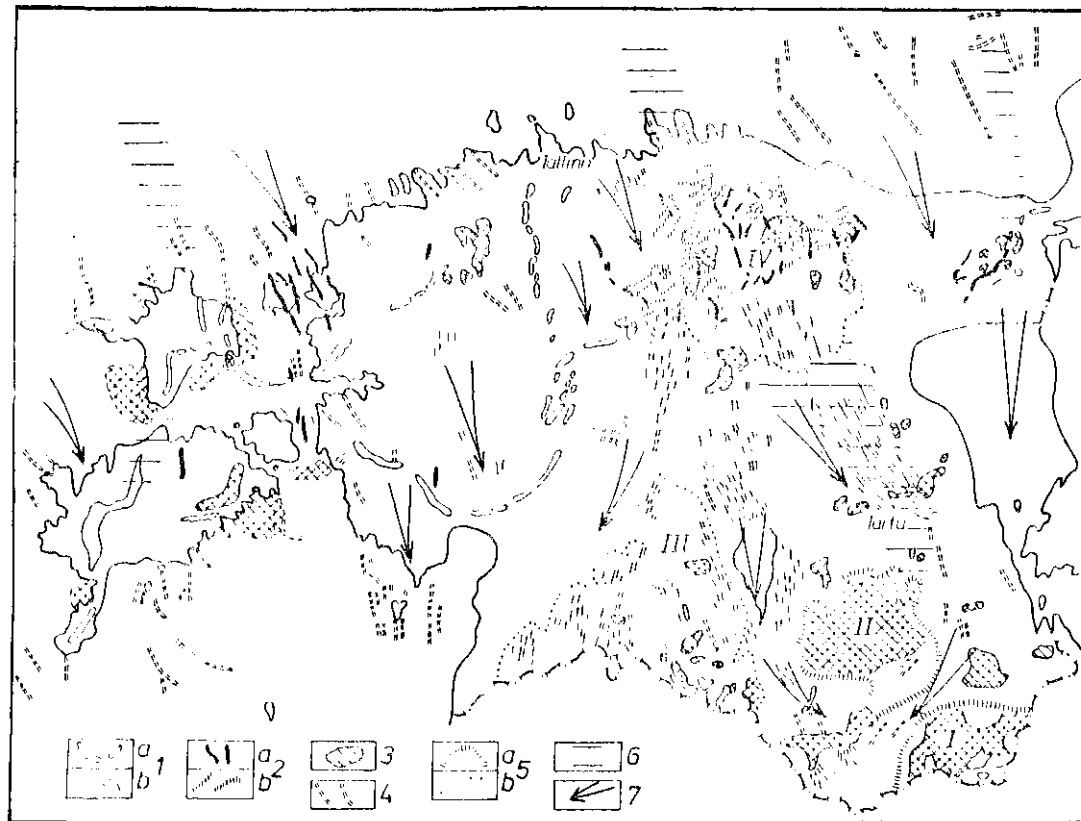
Otepää staadiumil tekkinud sulamisveed lõikusid sügavale kergesti erodeeritavasse devoni liivakivisse ja laiendasid sealseid jääajaelseid orge. Nii kujunesid Võru-Petseri ürgorg ja kirde—edela-suunaline Hargla orund, mida mööda suur osa vett voolas edelasse, Koiva orgu ja sealt Riia lahte.

Oletades, et Kurenurme orgaanilised setted mattusid enam-vähem üheaegselt Karula kuplistiku kujunemisega ja silmas pidades mandrijää keskmist taandumiskiirust, võib Otepää staadiumi vanuseks hinnata umbes 12 500 aastat.

Järgmised ligikaudu 12 250 aasta vanused selgesti eristatavad mandrijää servamoodustised paiknevad Sakala kõrgustikul. Sellele kõrgustikule polnud eelmiste jäätumiste jooksul kujunenud nii tüsedaad settelasundeid nagu Haanjas ja Otepääl. Kolmnurkne, lõuna suunas laienev lavamaa sundis õhenenud liustikku lahk-nema kahte harru, läänepoolsele madalikule ja Võrtsjärve nõkku (joon. 33). Kõrgustiku loode- ja läänenõlvale voolisid edelasse suunduvad liustikukeeled Suure-Jaani voorestiku ja hajali paiknevad voored Kõpu ümbruses. Võrtsjärve nõkku libisenud liustikukeel kujundas vooreliseks kõrgustiku idanõlva kuni Tarvastuni ja enne hargnemist monoliitsem liustikukeel voored Võrtsjärvest põhja pool, Kolga-Jaanis. Kõrgustiku lõunaosas, Holstre, Tuhalaane ja Kärstna juures kujunes jää taandumisel künklik reljeef.

Sakala kõrgustiku geoloogiat põhjalikult uurinud Erna Lõokene on kindlaks teinud seitse jääserva peatumise asendit, mida tõendab pinnavormide võõndiline paiknemine. Mitut puhku asendus seal mandrijää taandumine uute ajutiste pealetungidega, millest kõnelevad survealised Kuusiku ja Kiisa otsamoreanid. Kõigepealt vabanes jääst Sakala kõrgustiku lõunaosa, kõige kauem püsis liustik madalal idaosas, Võrtsjärve nõo piiril. Ka Sakala kõrgustikul kujunesid jääst vabanenud keskosas kohalikud jääpaisjärved, mille põhi oli kuni 83 m üle merepinna.

Mandrijää õhenemisel tekkisid kõrgustikul arvukad lõhed, kus jääst kallaste vahel voolas tormakas sulamisvesi, mis kandis



Joonis 33. Eesti peamised liustikutekkelised pinnavormid (K. Orviku, R. Karukäpa, E. Rähni ja autori andmetel): 1 — aktiivse jää kujundatud vormid (*a* — otsamoreenid ja põikoosid, *b* — voored), 2 — surnud ja passiivse jää orienteeritud vormid (*a* — pikioosid, *b* — künkliku maastiku orienteeritud vormid), 3 — vormide korrapärase paiknemisega künklik maastik, 4 — mitmesugused ebaselge geneesiga pikivormid, 5 — jäälahkmeala kõrgustikud (*a* — saarkõrgustikud, *b* — aluspõhjalised kõrgustikud), 6 — oletatavad jäälahkmealad, 7 — liustike pealetungi suund. Rooma numbriga on tähistatud kõrgustikud: I — Haanja, II — Otepää, III — Sakala, IV — Pandivere.



Joonis 34. Pandivere staadiumi kõige suurejoonelisem liustikutekkeline pinnavorm on Vaivara Sinimäed. Anto Raukase foto.

edasi ja sorteeris jääst välja sulanud moreeni. Jää sulamisel jäid lõhede kohale pikad, enamasti kumeraharjalised oosid. Suuremad neist paiknevadki vanades Tääksi-Kehklase, Sinialliku, Loodi, Kobruvere, Sooba, Ärna jt. orgudes.

Praeguses Peipsi-Pihkva järve nõos taandus liustikukeel aktiivsena, s. t. jääd tuli põhja poolt küll pidevalt juurde, kuid sulamine ületas juurdekasvu, mistõttu jääserv kokkuvõttes taandus. Et nõgu oli ümbruskonnast madalam, voolas sinna sulamisvesi ja kujunes järv, mida alates Sakala staadiumist kutsutakse Peipsi jääpaisjärveks. Varasemad faasid kandsid Pihkva jääpaisjärve nime. Jääserv püsis nõos Sakala staadiumi maksimumseisu ajal arvatavasti Torma—Tõljase—Oudova joonel.

Pandivere staadiumi liustikud Lõuna-Eestisse enam ei tunginud. Sel ajal kujunes valdavalt põikoosidest koosnev 150 km pikkune kaar Pärnust kirde suunas üle Lelle ja Rapla Valgejõe ülemjooksuni. Kirde-Eestis oli jääserva asend mõneti keerukama kujuga (joon. 33). Oluliselt mõjutas jää liikumist Pandivere aluspõhjaline kõrgustik, mis kõigil eelnenud jäätumise etappidel oli kulutusala. Nüüd vabanes see lame lavajas pinnavorm suhteliselt kiiresti jääst, mistõttu tema kesk- ja kaguosas ei jõudnud kuju-



Joonis 35. Vaivara Sinimäed on hiiglaslikud rändpangased, kus liustik on aluspõhjakivimid kord kurdu surunud, kord püsti lükanud. Pilt Tornimäe läänenõlvalt. Anto Raukase foto.

neda suuri servamoodustisi ega oose. Viimaseid esineb aga arvukalt kõrgustiku loode- ja põhjaosas. See tõendab, et mandrijää suutis Pandivere staadiumil edasi tungida ainult kõrgustiku põhjanõlval, kus kohati kujunes künklik reljeef (joon. 32 ja 33).

Kõrgustikust idas tungis liustik Pandivere staadiumi algul Peipsi nõo põhjaossa, kujundades Tudulinna fluvioglatsiaalse delta, Iisaku-Illuka põikoosid ning Kuremäe survealise otsamoreeni. Eriti markantne selle staadiumi pinnavorm on Vaivara Sinimäed, mille südamikuks on Põhja-Eesti paekaldast lahti murdunud lubjakivipangased (joon. 34 ja 35).

Luuga tasandiku ja Kirde-Eesti viirsaviprofiilide rööbistamisel selgus, et 12 080 a. tagasi murdsid Koporje küla lähedase ürgoru kaudu Neeva jääpaisjärve veed Luuga-Peipsi jääpaisjärve. Pandivere staadiumi liustiku pealetungi tõttu see ühendus sulgus. Uus läbimurre toimus umbes 30 aastat esimesest hiljem. Kui nimetatud sündmused on tõesti seotud Pandivere staadiumi liustike toimega, siis võib selle staadiumi vanuseks lugeda 12 050 aastat.

Pandivere staadiumi järgsel ajal vabanes kogu Eesti jääkattest, kuid seekord siiski veel mitte lõplikult. Järgnes uus lühiajaline liustike pealetung Palivere staadiumi näol, mille kestel liustik kattis Lääne-Saaremaa, osa Hiiumaast ja Loode-Eesti (joon. 31). See oli liustiku viimane meeleheitlik pingutus oma mõjuvõimu taastamiseks. Ida pool Tallinna ei suutnud tugevasti õhnenud mandrijää enam paekallast ületada, kuid tema ette, Tallinna ja Kunda vahelisele paekaldapealsele alale kujunesid liustikujõgede väga paksud (kuni 20 m) deltaliivad. Saaremaal ulatus Palivere staadiumi liustik arvatavasti aluspõhjalise Kesk-Saaremaa kõrgendikuni, kus kirde—edela-suunaliselt üle Saaremaa kulgenud jääserva ees tekkis võimas, ligi 45 m pikkune otsamoreen, praegune Lääne-Saaremaa kõrgustik. Servakuhjatisi leidub ka Sõrve poolsaare keskosas. Mandri-Eestis kulges põikooside 90 km pikkune kaar üle Risti—Palivere. Ka mitmed laiud Väinameres on saanud algmaterjali sellest perioodist.

Millal toimus Palivere staadiumi liustike pealetung, võib vaid oletada. Tinglikult saab Palivere servamoodustiste kaarega rööbistada Kesk-Rootsis Smålandi kõrgustiku põhjaosas ja Västergötlandi tasandikul leiduvaid mandrijää servamoodustisi, mis kujunesid liustiku ajutisel pealetungil Allerødi teisel poolel, umbes 11 200 aastat tagasi nn. vimmerbö jahrenemise vältel. Ligi-lähedaselt sama vanuse saaksime ka Eestist varvomeetria andmetel. Kui see rööbistus on õige, siis vabanes Eesti täielikult mandrijääst 11 100 aastat tagasi.

*Nii rammus me muld küll ei ole,
et nõges käiks katusest üle.
Nõges armastab jõudsamat maad.
Rukkile kõlbab seegi.*

Leelo Tungal

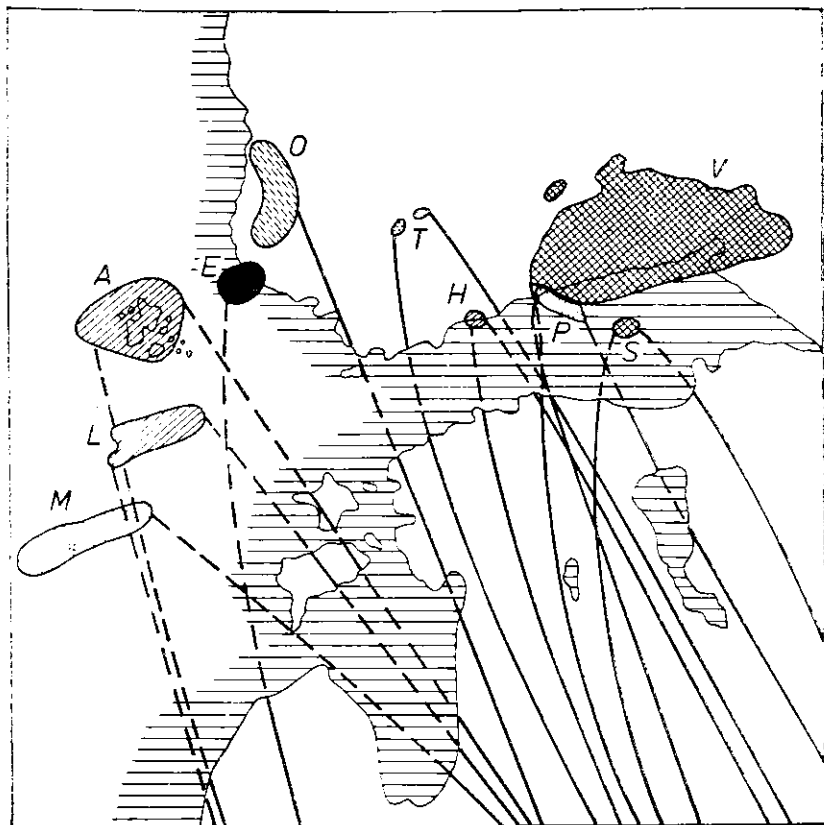
Liustiku pärandus

Liustikust kõneldes assotsieerub meie mõte ikka eeskätt külma ja ebameeldivaga. Tahtmatult tulevad meelde polaaruurijate vint-sutused ja nende retkede ebaõnnestumised. Ka töömehena näeme liustikus eeskätt purustajat ja alles teisel kohal ülesehitajat. Kuid viimane kaalub tulemustelt esimese poole kaugelt üles. Paikneb ju meie koduvabariigi kõige viljakam muld liustikusetel, moreenidel, mis sisaldavad rohkesti hapendumisele ja hüdrolüüsile kergesti alluvaid kristalsete kivimite laguprodukte. Need mullad on rikkad looduslike toitainete poolest, mida taimed suhteliselt hõlpsasti omastavad, ja on mõistlikul harimisel ka taimekasvuks soodsa niiskusraamiga. Selle peale ohkab põllumees: «Ja kui veel neist kividest lahti saaks!» Tõsi, põld peab kividest puhas olema. Kuid seda on lihtsam öelda kui teha. On moreenipealseid põlde, kus tuleb lõputult koristada külmast kergitatud ja adraga lahti kangutatud kive. Eesti põllumehe sajanditepikkune võitlus maaga on olnud eeskätt võitlus kividega. Kividega maadeldes ei mõtle põllumees kaugeltki alati, missugune oleks meie loodus ja elu, kui tavalist põllukivi enam ei oleks. Kuivõrd vaesem oleks meie koduvabariigi loodus.

Herbert Viiding ütleb oma raamatus «Lahemaa kivid»: «Kivide kaudu tunnetame looduse põlisust, õpime tundma iidset ajalugu, kividest õhkub kodusoojust ja sünnimaa hõngu, sest kivirikkus on meie põhjamaa loodusmaastike üks tüüpilisemaid palgejooni.» Seepärast ongi meile igapäevase südamelähedased Karl Eduard Söödi luuleread

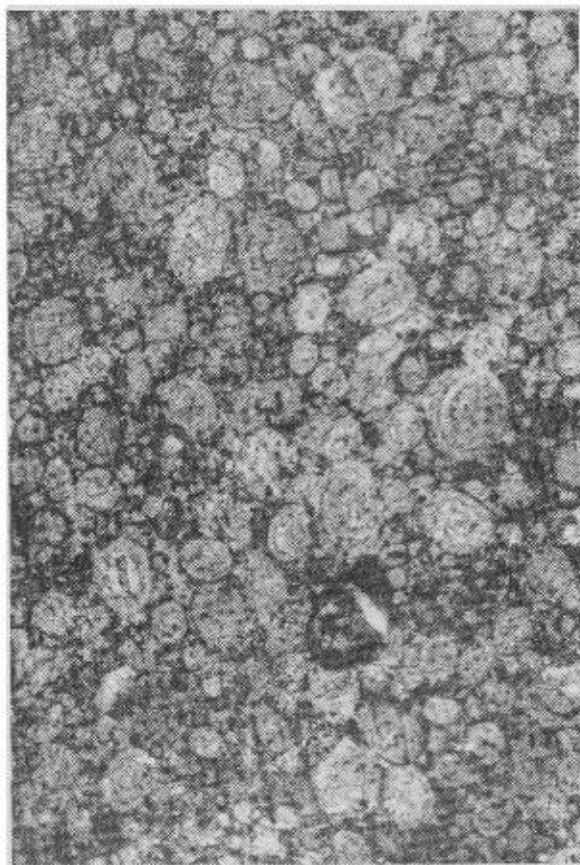
Üks ainuke lage kivi mul
armas on otsata.
Üksainuke lage kivi, kus
mängisin lapsena.

Sageli nimetatakse rändkive jääaja tummadeks tunnistajateks. Kuid pole nad kaugeltki tummad. Teadlased on osanud neid jääaja sündmustest, jää läbikäidud radadest ja mandrijää vaheldunud liikumissuundadest jutustama panna. Kõik kivimitüübid pole



Joonis 36. Mõned Soome ja Läänemere põhja kivimitüübid on hästi äratuntavad ja piiratud avamusalaga, mistõttu neid saab kasutada juhrändkividena. Eesti pindmiste juhrändkivide levik (Herbert Viidingu andmetel): A — Ahvenamaa rabakivi ja porfüürid, L — Läänemere punane kvartsporfüür, M — Läänemere mandelkivi, O — Satakunta oliiviindiabaas ja Laitila rabakivi, E — Edela-Soome (Vehmaa) rabakivi, T — Tammela uraliitporfüriit, H — helsinkiit, P — Pellinge uraliitporfüriit, S — Suursaare kvartsporfüür, V — Viiburi rabakivi.

selleks ühtmoodi kasutatavad. Mõned on paremini äratuntavad ning kui neil on veel ainuomane ja piiratud ida-lääne-suunaline avamusala, siis saab nende avamus- ja leiukoha sirgjoonega ühendamise teel hõlpsasti kindlaks määrata jää liikumisteede kaugelt põhjast meie alale. Kõigi leidude koondamise järel saame avamusalalt algava ja lõuna suunas kaarjalt laieneva levikulehviku, mis näitab mandrijää üldpealetungi suunda või ka jää uut ajutist pealetungi (joon. 36).



Joonis 37. Rabakivi tunnevad temale iseloomulike ümarjate päevakivikristallide tõttu kõik loodusesõbrad. Rabaga pole sellel kivimil midagi ühist. Tema nimetus tuleneb soome keelest, kus ta tähendab «mäda kivi», mida rabeduse tõttu ei kõlba saunakerisele panna. Anto Raukase foto.

Eestis on sellist olulist informatsiooni kandvad juhträndkivid Viiburi (joon. 37), Edela-Soome (Laitila ja Vehmaa) ja Ahvenamaa rabakivid, Suursaare, Ahvenamaa, Botnia lahe ja Läänemere põhja kvartsporfüürid ning Satakunta oliviindiabaasid. Arvuliselt ei ole need kivimitüübid, peale rabakivide (joon. 38), sugugi sagedased, kuid nende hulk on siiski piisav levikulehviku väljajoonistamiseks. Kivimiliselt on meie rändkivide hulgas kõige rohkem Soome päritoluga graniite ja rabakive (ligikaudu 80%). Neile järgnevad tunduvalt tagasihoidlikumal hulgal moondekivimid

Tabel 4

Eesti rändkivide kivimiline koostus H. Viidingu andmetel

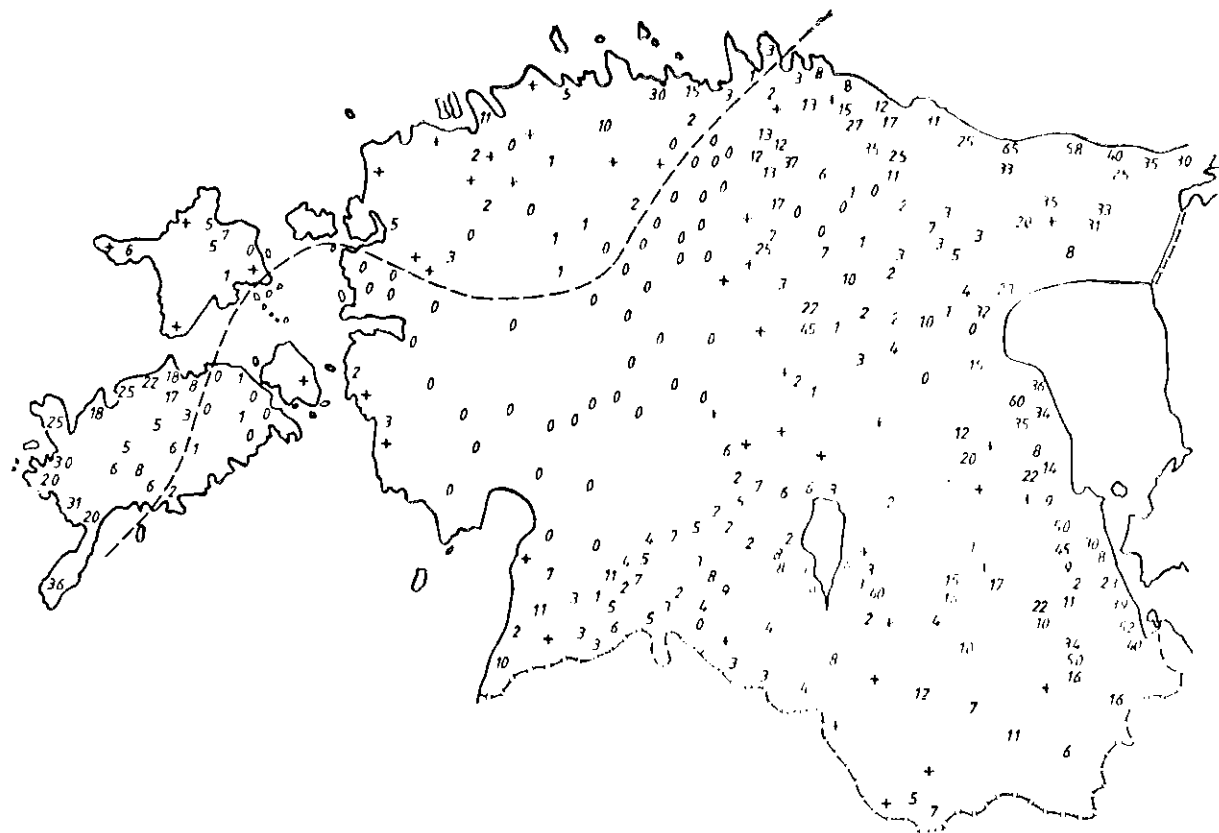
Kivim	Leviku- ala Soomes %	% Eesti rändkivide hulgas			
		Kesk- mine	Lääne- saartel	Lääne- Eestis	Ida- Eestis
Graniit	78,3	82,2	74,5	78,5	86,7
Dioriit ja gabro	8,2	3,5	4,5	4,0	2,5
Moondekivimid	9,1	12,9	18,9	16,0	9,7
Kvartsiid ja liivakivid	4,3	1,3	2,1	1,4	1,0
Marmor	0,1	0,1	—	0,1	0,1

(gneisid, amfiboliidid) — 13%, aluselised kivimid (gabrod jt.) — 3,5% jt. (tabel 4).

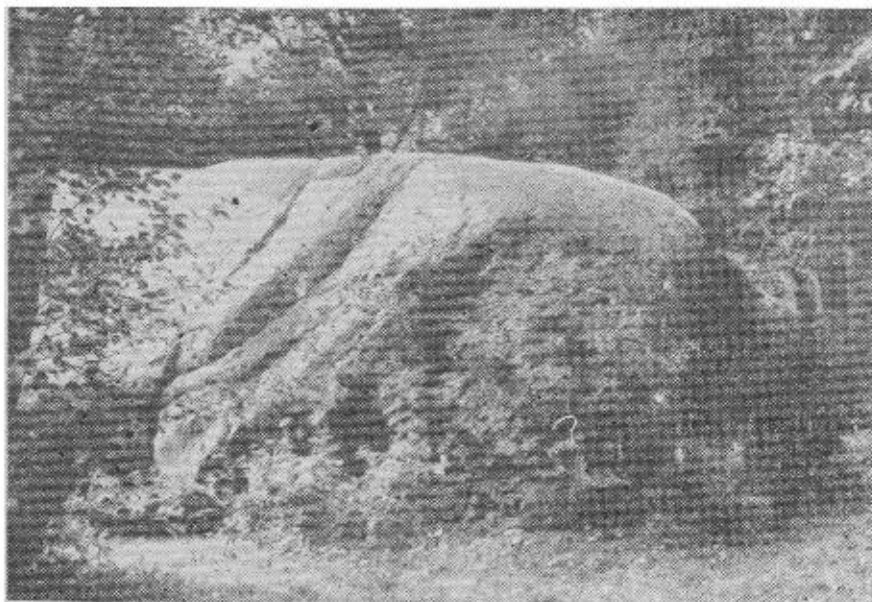
Liustikujääs või -lõheded kohalekantud rändrahnude mõõtmed on sageli aukartustäratavad. Näiteks on mõõtmistelt Eesti ja Baltimaade suurima rändrahn, Muuga kabelikivi pikkus 19 m, kõrgus 7 m, ümbermõõt 58 m. Talle järgnevad Ehalkivi Letipea neem (ümbermõõt 48,5 m), Vaindloo saare hiidrahn (ümbermõõt 43 m), Laulumäe kivi Jõelähtmel (ümbermõõt 42,7 m), Kukkakivi Hiiumaal (ümbermõõt 42 m; joon. 39) jt. Ei ole juhuslik, et kõik need hiidrahnud paiknevad Põhja- või Lääne-Eestis, lähemal omaaegsele asupaigale. Rändrahnude imposantsuse ja püsivuse tõttu on nendega seotud hulgaliselt muistendeid, rahvajutte, ajaloolisi sündmusi ja traditsioone. Paljud suured rahnud on rahvapärimestes seotud Kalevipoja ja Suure Tõllu tegevusega või rahakatla peidupaigaga. Rohkesti on nende seas ohvri- ehk hiiekive.

Kuidas tõi jäälaam hiidrahnud sadade kilomeetrite kaugusele? Tavaliselt kujutatakse hiidliustikku ette võimsa teehöövlinana, mis kõik eesoleva vaevata kohale lükkab. Tegelikuses ei kasuta liustik jõudu, vaid kavalust, oma pehmust ja plastseid omadusi: tungib kivimi lõhedesse ja pragudesse, haarab vastase nagu kaheksajalg haarmete vahele ja neelab aegade jooksul oma täitmatusse kõhtu.

Liustikule silusid teed jäävaheaegade soojas ja niiskes kliimas toimunud porsumine ja tektoonilised liikumised, mis kompaktsed aluspõhjaktivimeid murendasid ja plokkideks kangutasid. Hiljem lisandus sellele külmarabenemine. Teatavasti soojeneb ja paisub kivimi väline kiht halva soojusjuhtivuse tõttu päikesekiirguse toimet sügavamal asuvaist rohkem. Erinevalt soojenenud kihtide vahel tekivad ülipeened, kivimi pinnaga paralleelsed lõhededüsteemid. Oösel jahtub aga väline kiht tugevamini kui seesmised



Joonis 38. Eesti alal väga olulist informatsiooni kandvate juhrändkivide, rabakivide levik on ebaühtlane. Ida-Eestis on neid kohati rohkem kui pool kõigist kividest, Lääne-Eestis võivad isegi täiesti puududa. Rabakivide silmapaistvalt kõrgem esinemissagedus Looide-Eestis ja Lääne-Saaremaal on kõige kaalukamaid tõendeid, et enne jää lõplikku taandumist Eestist tungis siia uus liustik Palivere staadiumi näol (tähistatud katkendliku joonega). Joonisel on toodud rabakivide protsentuaalne sisaldus pindmiste rändkivide seas (Herbert Viidingu andmetel). Plussmärk tähistab rabakivide esinemist kohtades, kus nende hulk on loendamata.

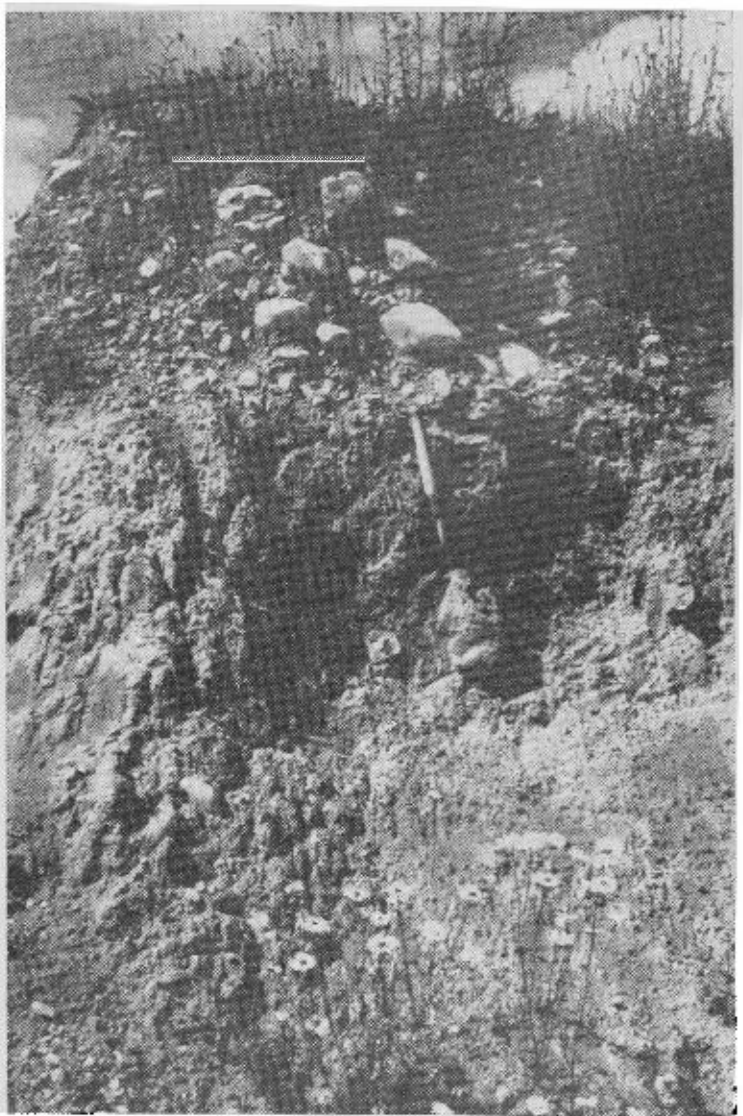


Joonis 39. Kukkakivi Hiiumaal ei mahu suuruse poolest küll esikolmikusse, kuid temagi pildile mahutamiseks on tõsine tegu. Ago Aaloe foto.

osad ja tõmbub ka tugevamini kokku. Tekivad uued, paisumisel saaduille ristsuunalised lõhed. Kujunenud ristuvate lõhede võrk lagundabki kivimi aja jooksul erineva suurusega tükkideks. Seda protsessi kiirendab lõhedes jäätuv vesi, mille purustav jõud on nii suur, et võib lõhe pinna 1 cm² kohta avaldada kuni 6000-kg survet, ning sellele ei pea vastu ükski vägi.

Nii liustikus edasikantavat kui ka liustiku poolt mahajäetud materjali nimetame eesti keeles prantsuse keelest laenutatult moreeniks. Paljudes võõrkeeltes ja ka vene keeles on uusimas kirjanduses moreenile jäetud piiratum tähendus: nüüdisliustikus olev veel sulamata materjal. Liustikust väljasulanud settel on uus nimi — «till», mille kivistunud erim «tilliit» on ka eesti keeles juba pikka aega kasutusel olnud. Kuid «till-iga» assotsieeruvad arvukad muud objektid, mistõttu uue ja parema sõna puudumise tõttu peame vähemalt esialgu endiselt kasutama moreeni nime-tust.

Et paremini mõista moreeni erinevaid tüüpe, vaatleme põgusalt nende kujunemist. Edasiliikuva liustiku alumine, maapinnaga vahetus kontaktis olev osa rikastub jääkünde tagajärjel pidevalt



Joonis 40. Liustiku sulamise järel kujuneb põhja- ja sisemoreenist põhimoreen (tähistatud labidaga), pinnamoreenist aga ablatsioonimoreen, mis harilikult lasub põhimoreenil. Tasandikulistel aladel esineb ablatsioonimoreeni harva ja teda on liustiku sulamisvee setetest raske eristada. *Anto Raukase foto.*

jääaluste kivimite murendproduktidest. Moodustub põhjamineen. Tingituna erinevast plastsusest jääkeele eri osades, jaotub ühtne jäämass erineva kiirusega liikuvateks kihtideks. Ülemised osad liiguvad maapinnaga kontaktis olevatest alumistest märksa kiiremini, mistõttu põhjamineen kerkib pidevalt ülespoole, kuni lõpuks kaotab vahetu kontakti maapinnaga ja muutub sisemoreeniks. Mandrijää kauakestva liikumise ja pealispinna intensiivse sulamise tõttu võib sisemoreen lõpuks jõuda liustiku pinnani, kus teda nimetatakse juba pinnamineeniks. Pinnamineeni hulk võib suurenedagi ka tuule kuhjava tegevuse ja varingute toimetel. Sisemoreen omakorda võib kujuneda pinnamineeni sattumisel liustiku lähedesse.

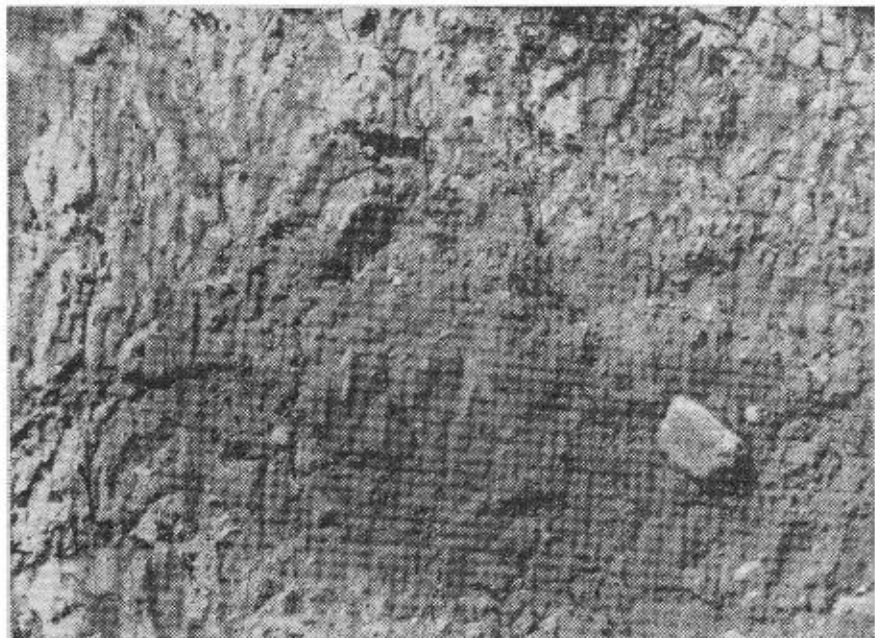
Liustiku sulamise järel kujuneb põhja- ja sisemoreenist põhimoreen, pinnamineenist aga ablatsioonimoreen, mis tavaliselt lasub põhimoreenil (joon. 40). Liustiku pinnal voolavate vetega kantakse pinnamineenist välja peened komponendid (eeskätt savi- ja aleuriidiosakesed), mistõttu nende hulk ablatsioonimoreenis on väike. Sageli on ablatsioonimoreeni fluvioglatsiaalsest kruusast väga raske eristada, kuid harilikult on ta koostisosad vähem ümardatud.

Moreeni lõimis, kivimiline koostis, värvus ja muud tunnused sõltuvad eeskätt aluspõhjakivimitest. Paekalda esisel alal, kus paljanduvad hallid, rohekad, sinakad või valkjad kambriumi savid, aleuoliidid ja liivakivid, kujunes viimasel jääajal rohekas- või sinakashall liivsavimoreen, mille koostises karbonaatkivimid enamasti puuduvad. Peale kohaliku aluspõhjalise materjali sisaldab sealne moreen rohkesti Soomest ja Soome lahe põhjast pärinevaid magma- ja moondekivimeid. Ordoviitsiumi ja siluri karbonaatkivimite avamusalal on viimase jäätumise moreen harilikult halli värvusega ning koosneb peamiselt kohalike karbonaatkivimite murendmaterjalist (joon. 41). Devoni punakavärvuselisel liivakividel ja aleuoliitidel esineb teistest moreenitüüpidest liivakam punakaspruun moreen (joon. 42). Et magma- ja moondekivimid on kulumisele ja murenemisele vastupidavamad kui karbonaatkivimid, on devoni avamusala moreenid Põhja-Eesti hallidest moreenidest magma- ja moondekivimirikkamad. Karbonaatkivimite hulk suureneb neis taas alles meie vabariigi kaguosas, kus moreeni koostist mõjustavad ülemdevoni heledavärvuselised dolomiidid, mistõttu moreeni värvus on seal heledam, valdavalt pruun.

Moreeni koostise ja värvuse sõltuvus aluspõhjakivimitest ilmneb ka varasemate jäätumiste moreenide juures. Kohalike aluspõhjakivimite mõju jälgides saame hõlpsasti vastuse, miks eri vanusega moreenid ühes ja samas rajoonis on mõnikord erineva koostise ja värvusega. Näiteks viimase (Hilisvaldai) ja Dnepri



*Joonis 41. Paekivimite avamusalal on moreen halli värvusega ja koreserohke.
Anto Raukase foto.*



Joonis 42. Devoni liivakivi avamuslal on moreen punakaspruun ja kive on selles vähe. Anto Raukase foto.

jäätumise moreen Kagu-Eestis on pruun või punakaspruun ning sisaldab suhteliselt rohkesti magma- ja moondekivimeid, Moskva ja Varavaldai jäätumise moreen sealsamas on aga hall ja koosneb valdavalt karbonaatkivimitest. Põhjendatud on küsimus, miks? Dnepri ja Hilisvaldai jääajal tungis liustik Kagu-Eestisse meridionaalselt mööda Peipsi nõgu, kus tema teel karbonaatkivimeid paljandus vähe. Moskva ja Varavaldai jäätumise liustik seevastu tungis Kagu-Eestisse loode—kagu-suunaliselt ning läbis tunduvalt laiema karbonaatkivimite avamusala. Seetõttu rikastus ta karbonaatkivimitega ning temast sulanud moreen sai halli värvuse.

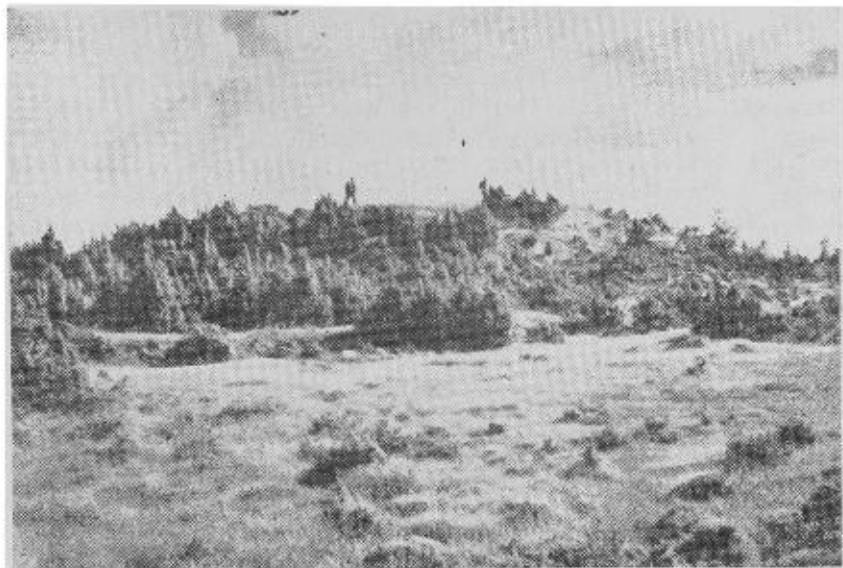
Siit peatükist selgub, et «oinapea» pole üldse sõimusõna, nagu väidab olevat «Õigekeelsuse sõnaraamat», vaid mandrijää poolt siledaks lihvitud täiesti soliidsel väljanägemisega kaljuküngas.

Jää kulutusvormid

Aeglaselt edasiliikuv. aluspinna ebatasasustele kohanduv plastne jää teeb aja jooksul ära otse usumatult suure lihvimistöö, mille ligikaudse kogumahu võib arvutada jää poolt lõuna suunas kantud ja kuhjatud pinnakatte paksuse põhjal. Eri autorige arvutustulemused on küll tugevasti erinevad, kuid kange töömees on liustik isegi kõige tagasihoidlikumate hinnangute järgi.

Kui palju ta siis aluspinda madalamaks on nühkinud? Soomlane Veikko Okko arvab, et Soomemaa madaldus liustikukünde tõttu 7 m võrra. Nõukogude uurijad N. Nikolajev ja A. Medjantsev oletavad aga, et see arv oli Balti kilbil palju suurem, keskmiselt 31,3 m. Ida-Euroopa lauskmade loodeosa, sealhulgas Eestimaa kulutus oli V Issatšenkovi arvutuste põhjal 35—40 m, A. Makavejevi järgi liustikuvoolude aladel koguni 100 m. Et hinnangud on väga erinevad, toome võrdluseks analoogilisi arvutusi mujalt. Kanada ja USA põhjapiirkondade liustikukünnet loetakse mõnest meetrist (R. F. Flint) mõnesaja meetrini (W. A. White), Norra fjordide oma keskmiselt 240 m (M. G. Grossvald).

Kus on siis tõde, sest nii minimalistid kui ka maksimalistid toetuvad arvutustele ja faktidele? Liustiku suhteliselt tühisele kulutusele viitab paljudes kohtades säilinud kvaternaarieelne (?) murenemiskoorik. Moreenialust tugevasti porsunud lubjakivipinda leidub kohati ka Põhja-Eestis, näiteks Kiviõli lähedal. Kuid me ei suuda tõestada, et porsumine toimus enne jääaegu. See võib olla hoopis viimase jäävaheaja pärandus. Kuid ilmselt ülepakkumiseks on ka sadadesse meetritesse ulatuvad hinnangud. Küllap on kõige tõepärasem kuldne kesktee, mille kohaselt Eesti aluspind madaldus jääkünde toimel keskmiselt mõnekümne meetri võrra. Suurem oli kulutus jäävoolude piires ja õige väike jäälahkmealadel. Et pealetungiv liustik kohandus aluspinnaale, säilisid üldjoontes jäätumiseelse pinnamoe põhijooned. Kus olid nõod, need süvenesid, jäälahkmealadeks olnud kõrgustikud laugesid, tasased alad jäidki tasasteks.



Joonis 43. Mihkli Salumägi Matsalu märgalal on Jaagarahu lademe kõvikuline bioherm, mille liustikud on lihvinud ovaalseks kaljuvooreks. Ago Aaloe foto.

Liustikule ette jäänud aluspõhjalised künkad said ovaalse, mõneti leivapätsi meenutava kuju (joon. 43). Näiteks võib tuua 2,5 km pikkuse ja 600 m laiuse kvaternaari setetega kaetud loode—kagu-suunalise Kopli ja sellega paralleelselt kulgeva Kakumäe aluspõhjalise kõrgendiku Tallinnas, või siis Kurna, Lehmja ja Tõdva künnised linnast lõunas.

Liustikust peaaegu voolujooneliseks lihvitud kaljusid kutsutakse silekaljudeks ehk oinapeadeks. Oinapeadeks sellepärast, et jää tulekupoolne nõlv on neil tavaliselt lauge ja sile, vastasnõlv aga järsk ja ebatasane, vahel lainjas nagu vill oina laubal. Silekaljusid on rohkesti Kanadas, Soomes ja Karjalas. Nende kõrgus on kuni paarkümmend meetrit, läbimõõt kümneid ja sadu meetreid, pikkus mõnest meetrist kilomeetrini. Neid leidub sageli kaljuvoorte pinnal. Silekaljud paiknevad enamasti rühmiti, moodustades silekaljustikke. Paljud saarterühmad skäärannikul (näiteks Stockholmi lähistel ja Lõuna-Soomes) kujutavad endast mere poolt üleujutatud silekaljustikke.

Kaljuvoored on silekaljudest enamasti suuremad, niisamuti massiivseist kivimeist seljakud, kuid need on kulutunud juba päris voolujoonelisteks. Nende pikitelg on orienteeritud jää lii-

kumise suunas, nad on kas munajad või on nende jääpoolne ots isegi kõrgem. Rohkesti on selliseid loode—kagu-suunalisi, kuni 15 m kõrgusi kaljuvoori Jaagarahu lademe avamusalal, näiteks Kirblas, Lihulas, Saleveres jm., kus nad moodustavad hiiglaslikke ihkkeelte taolisi vorme. Järsu astanguna kerkival kaljuvoore loodetipul leiame alati kõva biohermi, aeglaselt madalduv kagu-poolne osa koosneb pehmetest kihelistest dolomiitidest ja mergel-dolomiitidest ning on kaetud moreeni ja mereliste kruusade-lii-vadega. Analoožilised vormid on arvatavasti ka Kesselaiu saar Suures Väinas ja osaliselt võib-olla isegi Muhu saar, mille põhja-rannikul asuvas biohermidest koosnevas Rannaniidi pangastikus näeme kohati selgelt välja kujunenud silekaljulisi mandrijää lih-vituid vorme. Nende orientatsioon langeb kokku saarel mõõdetud jääkriimude suunaga.

Jäätkekeliste kõrguvate pinnavormide vahele või lähedusse jäävad kulutusnõod ja -vagumused. Kulutusnõod on ovaalse põh-jaga enam-vähem suletud nõod, mida jää on liikudes sügavdanud. Kulutusvagumused on seevastu pikemad ja avatud otstega oru-laadsed pinnavormid, näiteks Võrtsjärve ja Peipsi-Pihkva järve nõgu.

Mäestikualadel on mitmeid erilaadseid kulutusvorme, mis meil puuduvad: kaarid, karlingud, ruhiorud ja tsirkusorud. Kaarid ehk orvandid on liustikukündel tekkinud nišitaolised järskude veeru-dega süvendid mäeahelike nõlvadel. Kaaride esiserva suunas kaldu põhjast väljub liustikukeel. Liustikud võivad mäeaheliku täiesti läbi kulutada. Sel juhul jäävad kaaride vahele teravad nõeljad mäetipud, karlingud.

Ruhiorud, liustikuorud ehk troogid on tasase põhjaga järsu-veerulised ülevalt laienevad moldorud. Need on kujunenud ero-sioonilistest sälkorgudest, mis liustike toimet laienenud ja sügav-nenud.

Tsirkusorud on troogide lähedal paiknevad suured järsuvee-rulised orulaiendid, kuhu koguneb firm, millest moodustub liust-ikujää.

Mõneti ruhiorge meenutava kujuga on ka paljud liustiku lii-kumise suunas asetsevad Eesti vanad orud, eeskätt Põhja-Eestis. Liustik nühhis nende nõlvu ja süvendas põhja. Et jää liikumis-teele sattusid erineva kõvadusega kivimid, on jääkündeorgude põhi kohati astmeline, seal leidub laiendeid ja korrapäratu kujuga auke. Ka klindilahed on suured jääkündeorud, sest nende nüüdis-kuju pärineb eeskätt viimasest jääajast.

Jää kulutava tegevuse jälgi näeme ka mandrijää liikumise suhtes põiki asunud vanade orgude ehituses. Näiteks on suur osa Sakala kõrgustiku vanu orge (Paistu, Öisu jt.) järsu lääne- ja põhjaveeru ning laugema ida- ja lõunaveeruga, sest et põhja-



Joonis 44. Jääkriimud on kitsad ja madalad vaondikesed, mida liustiku kantud teravad kivid paesse kündnud. Need võivad üle minna jääkündevagudeks. Mõlemad näitavad liustiku liikumise suunda. Avo Miideli foto.

loodest liikunud mandrijää surve ja kulutav tegevus oli orgude lõuna- ja idanõlval suurem kui varju jäänud lääne- ja põhjanõlval.

Mandrijää pisikulutusvorme — jääkriime — kohtame peamiselt Põhja-Eestis ja saartel, kus aluspõhja lihvitud pind ei ole jääajajärgsel ajal nimetamisväärselt murenenud. Jääkriimud on tavaliselt kitsad (0,5—2 mm) ja madalad, enam-vähem paralleelsed sirgjoonelised vaondikesed, mille pikkus enamasti ei ületa poolt meetrit (joon. 44). Jääkriime tekitasid mandrijäässe haardunud teravad kivid, mis koos jääga liikusid mööda aluspõhja pealispinda. Jääkriimude tihedus, sügavus, laius ja pikkus sõltub kivide hulgast, kujust ja kõvadusest. Lühikeste jääkriimude puhul on kriimustavad kivid kulunud või täielikult jäässe kadunud.

Jääkriimude suurimad mõõtmed ei ole selgelt piiritletud. Suurenedes saavad neist juba kündevaad, kuni paarikümne sentimeetri laiused ja kümne sentimeetri sügavused vaod, mida liustikku surutud kivid on ebaühtlase kõvadusega aluspõhjakiivimitesse voolinud. Hästi väljakujunenud kündevagusid on teada Rohukülast, Vasalemmast, Kamarikult jm.

Jää ja aluspõhja vahele jäänud kivide veeremisel võivad mandrijää liikumise suunas tekkida ridastikku augukesed, mida nimetatakse hõordelohkudeks. Omapärased mandrijää kulutuse väikevormid on ka ihkkeeled, mis vastandina jääkriimudele ja kündevagudele ning hõordelohkudele on jääst siledaks kulutatud pindade kõrguvad vormid. Need on tekkinud aluspõhjakiivimis leiduvate kõvade suletiste (ränistunud kivistised, püridikristallid jms.) taha ümbritseva kiivimi kulutumise tulemusena. Moodustunud keeletaoliste, mandrijää liikumise suunas aeglaselt madalduvate seljandikukeste suuremad vennad on eespool kirjeldatud biohermsete peadega kaljuvoored.

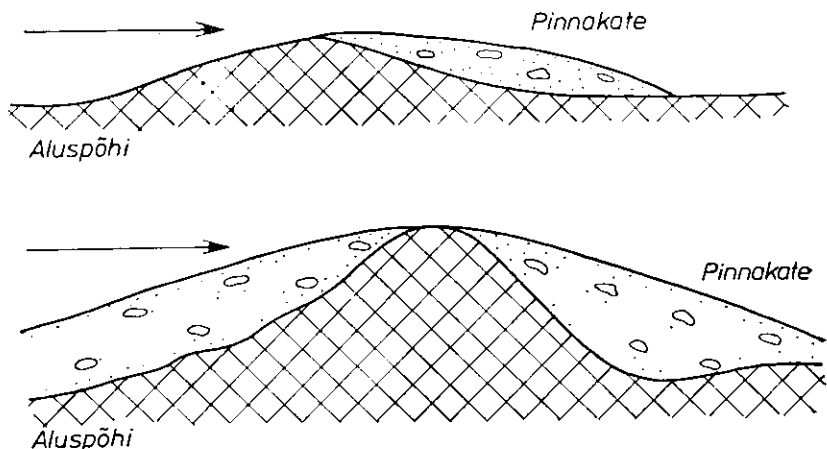
Kõige silmapaistvamad ja tuntumad jää voolitud vormid on Eestis kahtlemata mandrijää liikumise suunas asetsevad pikliku ja voolujoonelise, leivapätsi meenutava kujuga voored. Nende pikkus ulatub mõnekümnest meetrist 13 kilomeetrini (Laiuse voor), kusjuures pikkuse ja laiuse suhe on varieeruv (Saadjärve voorestikus 2:1—23:1, Kolga-Jaani voorestikus 3:1—16:1 jne.), kuid enamasti vähem kui 10:1 (näiteks Suure-Jaani voorestikus valdavalt 3:1—5:1). Voorte ristprofiil on sümmeetriline, pikiprofiil aga ebasümmeetriline. Mandrijääpoolne (proksimaalne) osa on vastaspoolsest (distaalsest) kõrgem ja järsem. Voorte nõlvad on enamasti lamedad, valdavalt alla 10° (sageli 2—5° harva kuni 25°), suhteline kõrgus ulatub mõnest meetrist 50—60 meetrini (Laiuse 60 m, Sootaga 57,7 m). Kõrgemad kui paarkümmend meetrit on voored meil siiski ainult Saadjärve ehk nn. suurvoorestiku piires, ülejäänud, nn. väikevoorestikel on voorte kõrgus tavaliselt

alla 10 m. Erandlik on ses suhtes Türi voorestik, kus võrdlemisi sageli kohtame kuni 20 m kõrgusi vorme. Voorte nõlvadel ja lagedel esineb kohati mõne- kuni mõnekümnemeetrise läbimõõduga kausja või pikliku kujuga nõgusid (nn. sõlle), mida Saadjärve voorestikus peetakse Kalevipoja silmaveekaussideks. Nende teket seletatakse mattunud jääpankade sulamisega.

Voori iseloomustab grupiline kulissitaoline paiknemine, harva esinevad nad üksikult. Nad on tavaliselt üksteisest selgelt eraldatud, liitvorme esineb harva (näiteks Enge ja Ketu kaksikvoor Suure-Jaani voorestikus). Kohati paiknevad voorte vahel nendega paralleelsed sügavad ja kitsad soostunud nõod, milles mõnikord asuvad järved, näiteks 27 m sügavune Saadjärv.

Kokku on Eestis rohkem kui 1000 voort. Need paiknevad sea- duspäraselt vanade aluspõhjakõrgendike nõlvadel või nende vahetus naabruses (joon. 33). Kõrgendikud takistasid jää edasilikumist, sundisid suunda ja kiirust muutma. See aga intensiivistas jää kulutavat toimet ja soodustaski niiviisi voorte tekkimist. Kolga-Jaani voorestiku kujunemise tingisid näiteks Sakala ja Ugandi aluspõhjaline kõrgendik ning Võrtsjärve nõgu. Türi ja Anija voorestiku kujunemisel oli määrav Pandivere kõrgustik. Kvaternaari- eelse reljeefi suurvormide kõrval etendasid voorte kujunemises olulist osa ka viimase jäätumise eelse reljeefi keskvormid, eeskätt vanad orud. Eriti selgesti ilmneb nende mõju voorte kujunemisele Sakala kõrgustikul. Orud suunasid mandrijää liikumist ja tingisid kas oma põhjas või nõlvadel (näiteks Tääksi — Välgita — Kehklase orus) voorte tekkimise.

Eesti väikevoored kujunesid tingimustes, kus jää oli juba nii õhuke, et ei suutnud isegi suhteliselt madalaid kõrgendikke ületada. Saadjärve suurvoori kujundanud jää aga oli sedavõrd võimas, et ületas vabalt Pandivere kõrgustiku, mille kagunõlval voolis voored. Viimaste kujunemise eelduseks olid vanemad pak- sud kvaternaari setted. A. M. Rõugu tehtud voorestiku detailuuri- mine on viinud järeldusele, et jää liikus Pandivere kõrgustiku varjus ilmselt arvukate, kagu poole koondunud eri kiirusega voo- ludena. Voorestiku põhjaosas on ülekaalus suured, lamedad ja üksteisest kaugel asetsevad künnised, lõunaosas, kus jää liikus juba hoogsamalt ja libisevate jääkeelte külgsurve oli lääne ning ida pool suurem, on voored kõrgemad, järsemate nõlvadega ning piklikumad, nende vahele jäävad nõod aga sügavamad (nüüd järvedega täitunud, näit. Saadjärv, Raigastvere, Soitsjärv jt.). Arvestades jää liikumissuundi, pidi Saadjärve voorestik kju- nema pika aja jooksul ning vähemalt osaliselt juba Haanja serva- moodustiste vööndiga üheaegselt. Otepää staadiumi ajal oli voo- restikus irdjää, millest sulanud materjal moodustas voorte lainjas- kühmulise moreenkatte ja mille sulamisvesi kandis jäälõhedesse



Joonis 45. Tüüpilised voored on kujunenud aktiivselt edasitungiva liustiku all, selle voolival toimel, mistõttu neile on iseloomulik mandrijää liikumise suunaline piklik ja voolujooneline, ülaltvaates mõneti leivapätsi meenutav kuju.

kruusa. Sellest tekkisid oosid ja mõhnad. Kohati uuristas sulamisvesi läbi voorte puhandusorge.

Vaatamata sellele, et Eesti voorte morfoloogia ja ehitus on küllalt hästi teada, on seisukohad voorte tekke suhtes seni veel üsna vastandlikud. Osa teadlasi (B. Doss, L. zur Mühlen, K. Kajak jt.) loeb voori eeskätt kulutusvormideks, teised (H. Hausen, G. G. Granö, P. Rumma, A. Tammekann, K. Kildema jt.) kuhjevormideks. Et anda vastust küsimusele, kumba seisukohta lugeda õigemaks, tutvume põgusalt voorte siseehitusega. See on küllaltki mitmenäoline. Esineb moreenkattega voori, mille tuumaosa koosneb aluspõhjalistest devoni liivakividest (näiteks Rannu ja Kolga-Jaani voorestikus) või ordoviitsiumi ja siluri karbonaatkivimitest (näiteks Türi voorestikus). Kohati on moreenkatte voortel väga õhuke (1–2 m) või puudub hoopis (Vare voor Kolga-Jaani voorestikus, Türi-Alliku voor Türi voorestikus). Sageli katab viimase jäätumise moreen vanemaid kvaternaari setteid. Sellised, eeskätt moreenist koosnevad, on valdavas osas Saadjärve ja Kolga-Jaani voored. Märksa harvem esineb voori, mille tuumaosas esinevad küll vanemad kvaternaari setted, kuid mis valdavalt koosnevad õhukese moreenikihiga kaetud jääjõgede ja jääjärvede väherikutud või rikkumata lasuvusega kruusadest ning liivadest (näiteks Laiuse ja Kärde voor Saadjärve voorestikus, hulk voori Suure-

Jaani voorestikus). Kruusad ja liivad on kuhjunud lõhenenud liustiku radiaallõhedesse ning ladestunud jää sulamise järel koos katva sise- ja pinnamoreeniga skulptuurilistele vormidele või nende vahele. Sisuliselt on sellised voored pseudovoored ehk drumlinoidid. Et just sellistes voortes paiknesid omal ajal kruusa-augud (moreeni polnud ju mõtet kaevandada), lõi see eksliku ja ühekülgse pildi voorte siseehitusest. Selguse tõid alles puurimised kuuekümnendatel aastatel. Tüüpilised voored on tekkinud aktiivselt edasitungiva liustiku all, selle voolival toimetel umbes nii, nagu lapsed siluvad püdelat savi (joon. 45). Tõmmates sõrmedega läbi savi, ei saa me õigesti aru, kas selle tegevuse käigus tekib kulutus või kuhjumine. Pahanduse ärahoidmiseks nimetatakse voori seetõttu kuhjelis-kulutuslikeks vormideks. Vahel on ülekaalus kulutus, teinekord aga kuhjumine.

*Ühendada ühendamatut — see on
mitte üksnes poeetide lemmiktege-
vus, vaid ka maailma asjade ole-
mus.*

D. Danin

Nüüd kõneleme mandrijää kuhjevormidest

Mandrijää kuhjevormid, moreentasandikud, otsamoreenid jt. on kulutusvormidest märksa laiema levikuga. Nagu ütlevad nime-
tusedki, on nende oluline koostisosa moreen, s. o. mandrijää poolt
kaasahaaratud ja hiljem väljasulanud väga erineva terasuurusega
sorteerimata purdsete.

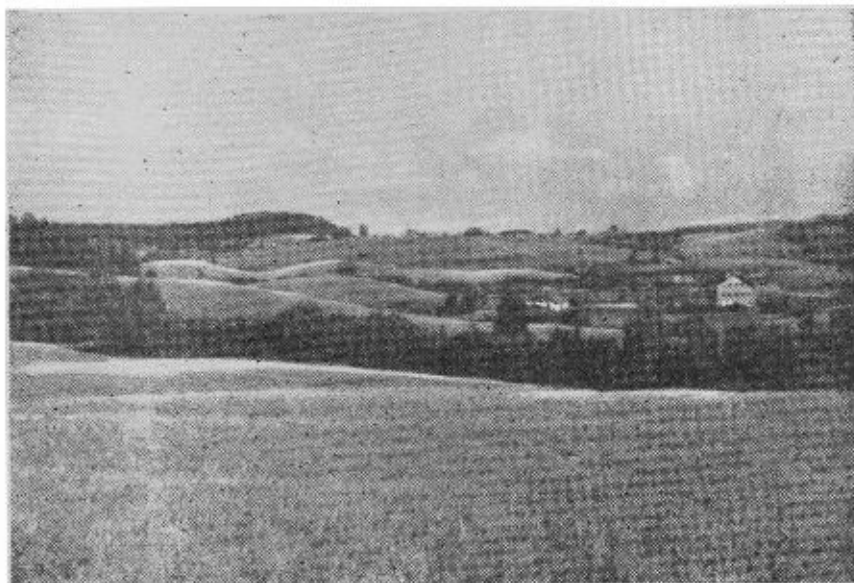
Liustike moreensetest kuhjevormidest on kõige levinumad
moreentasandikud. Need liivsavise või saviliivase pinnakattega
viljakad alad on kujunenud vana reljeefi tasandikulistel kohtadel,
kusjuures moreenist pinnakatte paksus varieerub meetri mür-
dosast kümnekonna meetrini. Moreen võib õhukese kihina katta
ka varasematest jäätumistest pärinevaid setteid.

Moreentasandike pind on enamasti lainjas, suhtelised kõrgu-
sed ulatuvad harva üle 10 m. Lainjas pinnamood võib olla tingi-
tud allolevate kivimipindade ebatasasusest või moreeni ebaühtla-
sest paksusest. Sulamisvesi on moreentasandikesse kohati mada-
laid orgusid uuristanud. Kui neid on palju, räägitakse orustatud
moreentasandikest, näiteks Tartu—Põlva vahemikus, Sakala kõr-
gustiku põhjaosas jm.

Moreentasandiku lainjalt pinnalt kerkib esile madalaid (alla
10 m) lamedanõlvalisi moreenkünkaid. Neid esineb nii üksikult
kui ka küngastikena. Küngastel on moreenkate paksem. See-
sugune künklik moreenreljeef on väga erineva morfoloogia, ehi-
tuse ja kujunemislooga. See võib tähistada jääserva pikemaaja-
lisi seisakuid ja ajutisi pealetunge, kuid kujuneb hoopis sageda-
mini jäätumiskeskusega ühenduse kaotanud irdjääs.

Künkliku maastiku peamine levikuala on Otepää ja Haanja
kõrgustik, kuid künkaid esineb ka Karulas, Pandivere kõrgustikul
ja Sakala kõrgustiku lõunaosas, piiratumalt mujalgi. Künkliku
reljeefi tekkimisel oli oluline osa liigestatud vanemal reljeefil.

Oleks ekslik arvata, et künklik moreenreljeef koosneb ainult
moreenist. Setted vahelduvad erakordselt kiiresti. Kohati koos-

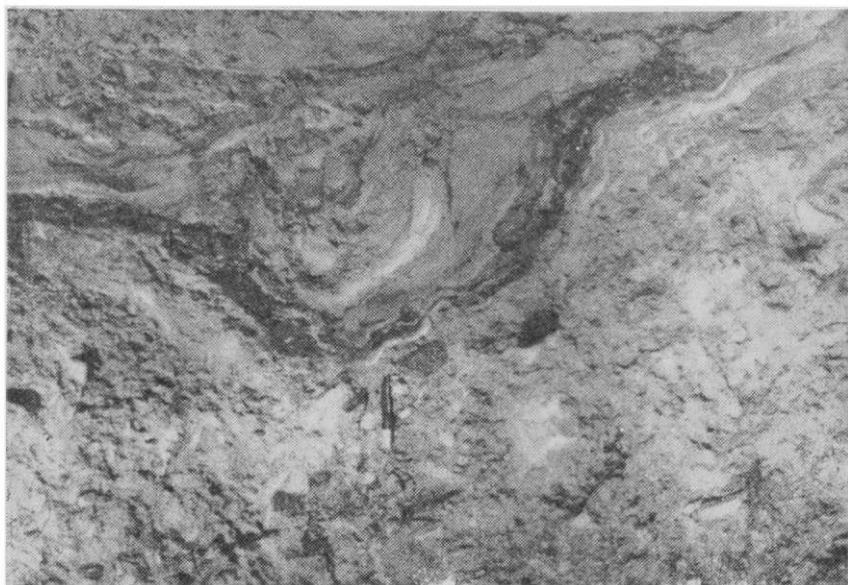


Joonis 46. Künklikus maastikus vahelduvad pisisood, järvesilmad, metsatukad ja põllulapid kaleidoskoopilise kiirusega. Ka künkad ise on erineva kuju, koostise ja suurusega. Karula kõrgustik Lüllemäe lähedal. Vaino Olli foto.

nevad künkad moreenist, sealsamas aga valdavalt liivast ja kruusast, veidi edasi hoopis jääjärvelistest savidest. Kõik see näitab, et liustikuvesi on moreeni intensiivselt läbi pesnud ning et künkliku reljeefi kujunemistingimused on olnud väga muutlikud ja keerukad. Moreenkünkad on tavaliselt madalamad (2—10 m) ja lamedamad (3—10°) künklikul alal esinevatest mõhnadest (kõrgus enamasti 10—25 m, nõlva kalded 10—25°). Silmapaistvaimad (kõrgus 10—60 m) künklikus reljeefis on moreense tuuma ja jääjärvede või -jõgede setetest koosneva katttega liitvormid, mis on eriti sagedased Haanja ja Otepää kõrgustiku keskosas. Sel juhul kõneleme moreenkünkale pealepandud limno- või fluviomõhnadest.

Kühmud, kuplid, seljakud ja künnised on künklikus reljeefis kohati ühes kindlas suunas orienteeritud. Näiteks võib tuua Lüllemäe ümbruse Karula kõrgustikul (joon. 46), Polli mäed Sakala kõrgustikul ja küngaste vööndi Otepää kõrgustikul, kuhu kuuluvad Maarja-, Hobuse-, Kella-, Muna- ja Savimägi.

Eriti sagedased on pinnavormide kaarjad kogumikud Põhja-Eesti künklikel aladel. Sellised aktiivse liustiku keelt ääristanud

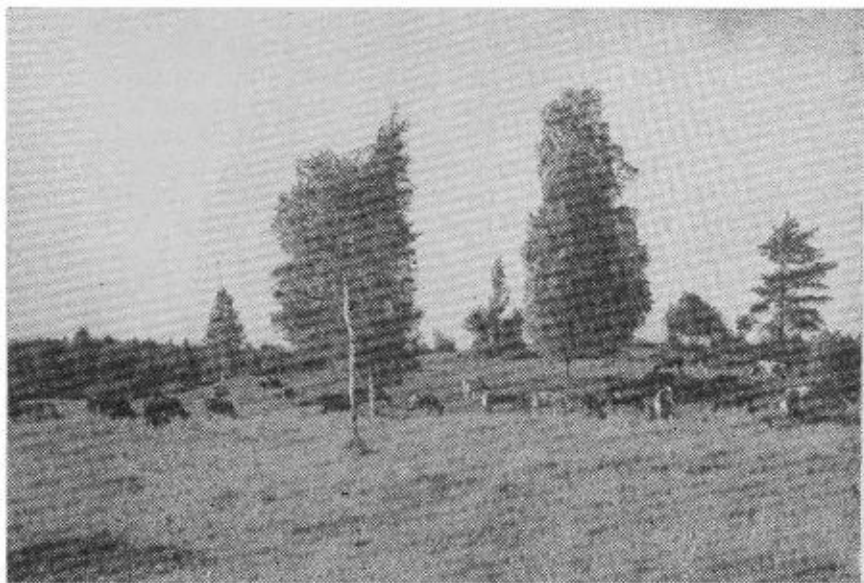


Joonis 47. Otsamoreenides on liustik settid kurdudesse surunud, üksteise peale lükanud ja segi tampinud. Avo Miideli foto.

künkad on üleminekuvormideks künkliku reljeefi ja otsamoreenide vahel. Viimased jaotatakse vastavalt tekkele surge- ja kuhje-otsamoreenideks. Survemoreenid koosnevad kokkulükatud, väga erineva koostisega setetest: moreenist, kruusast, liivast, aluspõhja kivimitest jt., mis kõik on kurdudesse surutud (joon. 47) või üksteise peale lükatud ja tugevasti segi tambitud. Kihtide rikkumata lasuvust esineb harva, ainult siis, kui settid on edasi kantud läbikülmunud olekus.

Uks iseloomulikum Eesti surgeotsamoreen on Tamsalu raudteejaama lähedal Naistevälja küalani kulgev mõne meetri kõrgune Tamsalu otsamoreen, mis on kujunenud aluspõhjalise paeastangu servale. Astangu ette peatuma jäänud jääkeel purustas takistuse ülemised kihid ja surus need kipra, peale aga kuhjas moreeni, kruusa, liiva ja rändkive.

Viljandi linnast 1,5 km lääne pool asetsev Kiisa otsamoreen moodustub kolmest lookleva kujuga loode—kagu-suunalisest kitsast ja teravaharjalisest, paari kuni seitsme meetri kõrgusest seljakust, mille mandrijääpoolne kirdenõlv on edelanõlvast märksa järsem. Seljakud koosnevad rändkividerikkast moreenist ja liustikujõgede setetest.



Joonis 48. Lammasmägi Kunda lähedal, arheoloogidele hästi tuntud muinasaja inimese elupaik, on liustiku poolt kohale kantud rändpangas. Avo Miideli foto.

Eesti võimsaim survemoreen on Vaivara Sinimäed, mille tuumiku moodustavad hiiglaslikud lubjakivipangased (joon. 34, 35). Need murdis jää tõenäoliselt paekaldast ja kandis mõned kilomeetrid lõuna poole. Sinimägedena tunneme kolme ümbritsevast laudtasasest maastikust teravalt esile kerkivat kõrgendikku. Läänepoolset kutsutakse Tornimäeks (69,9 m üle merepinna), keskmist Põrguhauamäeks (83,2 m) ja idapoolset Pargimäeks (84,6 m). Kujult on need korrapäratud, järsu põhja- ja lauge lõunanõlvaga seljakud, kus aluspõhjast lahtikistud lubjakivipangad on kohati täiesti vertikaalses asendis. Rändpangaste kujunemiseks lõi soodsa pinna aluspõhjaline tektooniline rikkevöönd, mis hõlbustas juba lõhestunud kivimiplokkide kaasahaaramist.

Mõned uurijad (E. Sammet jt.) on avaldanud kahtlust, kas Sinimägedes olevad lubjakivipangad on ikka liustiku kätetöö. Nende arvates on tegemist tõelise tektoonikaga, mis lubjakivikihid on kohapeal kurdu surunud. Selle seisukohaga on raske nõustuda. Sinimägede ehitus, moreeni esinemine kurdudesse surutult ja ilmselt mitte kohapealsete aluspõhjakihtide vahel, kurdude suund ja moreenialuste vertikaalsete liivakihtide ülaosa kagusuu-

naline paine kõnelevad loodest (asimuut 330°—340°) pealetunginud liustiku survest ja mägede liustikulisest tekkest.

Muide, taoline aluspõhjapangaste edasikanne on üsna tavaline nähtus. Rändpangas on näiteks arheoloogidele tuntud Kunda Lammasmägi (joon. 48), neid leidub Laagnas, Puhkuvas ja Narva ümbruses. Üks suuremaid on meil veel Aruküla lademe punakaspruunist ja hallikasvalgest liivakivist ning kirjuvärvilisest merglist ja savist koosnev rändpangas Viljandi linnas Valuoja oru idaveerul (laius vähemalt 60 m). Võrdluseks: Kalinini oblastis Võšni Volotšoki ja Toržoki linna vahel on 100 km pikkune rändpangas.

Kuhjeotsamoreenide kujunemine on märksa rahulikum. Need moodustuvad olukorras, kus jää sulamine ja lisandumine on tasakaalus. Jääst surutakse järk-järgult välja moreeni läätsed. Tegu oleks nagu transportöirilindiga, mis pidevalt veab materjali mingile kindlale joonele. Erinevalt surveotsamoreenidest on kuhjeotsamoreenide setted vähe rikutud ja piklikud veerised on asetunud jää liikumise suunas. Kuhjeotsamoreeni näiteks võib tuua Vatuks otsamoreeni Valgejõe ürgoru nõlval. See koosneb moreenist ja paelahmakatega segunenud kruusast.

Kirjeldatust märksa suurejoonelisem on Linnuse otsamoreen Lääne-Eestis Linnuse ja Kärü küla vahel. Umbritsevast tasandikust kerkib see kuni 20 m kõrgusele, koosneb tervikuna moreenist ja laius Linnuse kohal on ligikaudu 1,3 km.

Veelgi suurem kuhjeotsamoreen on Lääne-Saaremaa kõrgustik ehk Saaremaa Keskkõrgustik. Selle S-kujulise pinnavormi üldpikkus on 40—45 km, laius 5—6 km, absoluutkõrgus kuni 54 m, suhteline kõrgus 20—35 m.

Kui otsamoreenid tähistavad mandrijää servaasendit, siis piki-moreenid näitavad liustiku liikumise suunda, kujunevad liustiku-keelte vahel ja sageli on raske neid pikioosidest eristada, millega nad mõnikord kulgevadki vaheldumisi. Koostis on moreen, liiv ja kruus. Põhja-Pärnumaa otsamoreenkaarest lähtub 12 km pikkune Soosaare—Maima—Jüri radiaalne ahelik, Põltsamaa ja Lustivere vahel aga ning Pajusti lähedal lähevad pikimoreenid üle voorteks. Esineb ka täiesti iseseisvaid pikimoreene (Türi voorestikus). Harilikult on sellised pinnavormid vaid paar meetrit kõrged ja mõnisada meetrit pikad.

Liustikukeelte vahel võib kujuneda ka tõelisi hiidvorme (joon. 32), nagu meie koduvabariigi suurimad kõrgustikud Haanja ja Otepää. Saarelise asendi tõttu ümbritsevate tasandike suhtes on neid hakatud kuhjelisteks saarkõrgustikeks kutsuma. Selliseid saarkõrgustikke on Ida-Euroopa tasandikul rohkesti. Neile on iseloomulik künklik reljeef, paksud kvaternaari setted, aluspõhjaline tuum, suhteliselt suur absoluutkõrgus, selgelt piiritletavad



Joonis 49. Saarkõrgustikele on iseloomulikud künklik reljeef ja kvaternaari-setete suur paksus, aluspõhjaline tuum, suhteliselt suur absoluutkõrgus, selgelt piiritletud nõlvad ja jääpaisjärveliste setetega kaetud lavajad pinnavormid. Otepää saarkõrgustiku suurkünklik keskosa Otepää lähedal. *Ilja Kala foto.*

nõlvad ja jääpaisjärveliste setetega kaetud lavajad pinnavormid.

Saarkõrgustike väga keeruka siseehituse ja rahu reljeefiga pinnavormide paks settelasund (180—200 m) on kujunenud mitmes etapis. Jää pealetungil toimus praeguste kõrgustike kohal esmalt jääalune, siis jääsisene kuhjumine. Varem moodustunud paksu settelasundi ja erisuunaliste liustikuvoolude toimele muutusid liustiku mõned osad passiivseteks. Nende ja liikuva jää kokkupuutealadel tekkisid jäässe lõhed, mis peagi viisid irdjää tekkimiseni. Reljeefi kõrgematel osadel, mis kõige enne vabanesid lausjääkattest, jäi pind madalamaks kui ümbritsevatel irdjää pankadel. Seal tekkisid jääseintest ümbritsetud järvenõod, kuhu voolanud sulamisveest sündisid jääjärved. Sulamisveed kandsid sinna peeneteralisi setteid (liiva, aleuriiti ja savi), mis kuhjusid rõhtkihilistena nagu seisuveekogudes ikka. Kui ümbritsevad jääseinad hiljem sulasid, voolas vesi laiali ja järve põhja settinud materjalist jäid maha suured, enamasti piklikud vaarad ja künkad, limnoglatsiaalsed mõhnad. Kui sulamine intensiivis-

tus, tekkis vett rohkem ja kujunesid lokaalsed liustikujõed, neist hiljem omakorda fluviomõhnad. Nii kujunes kõrgustike keskosa reljeef (joon. 49).

Kõrgustike servaaladel tekkisid järgneva arengu käigus mitmesugused servamoodustised, sealhulgas otsamoreenid (näiteks Otepää kõrgustiku servaalal Kambjas) ja fluvioglatsiaalsed deltid (näiteks Haanja kõrgustiku servaaladel Missos, Võru-Kubijal ja Sännas).

Saarkõrgustike kujunemise viimasel, irdjää etapil toimusid ka maavooled ja termokarstilised protsessid, mis on omased nüüdisaegsetele igikeltsaaladele. Siis sulasid üles ka setete alla mattunud jääpangad, nende asemeist said nõod (sõllid). Jää lõplikul sulamisel kujuneski Haanja ja Otepää kõrgustikule iseloomulik künklik-nõoline reljeef, kus ülekaalus on limnoglatsiaalsed ja fluvioglatsiaalsed ning moreenkattega mõhnad. Kõrgustike edasine kujunemine jätkus juba jääajajärgsetes tingimustes ning neil protsessidel peatume edaspidi.

*Kõik rajad on umbes. Kel pesa on paos.
Tuul ulub ja kasvatab hangi.
Ees silmapiir mustab ja pimedus vaob
ja maailma aheldab vangi.*

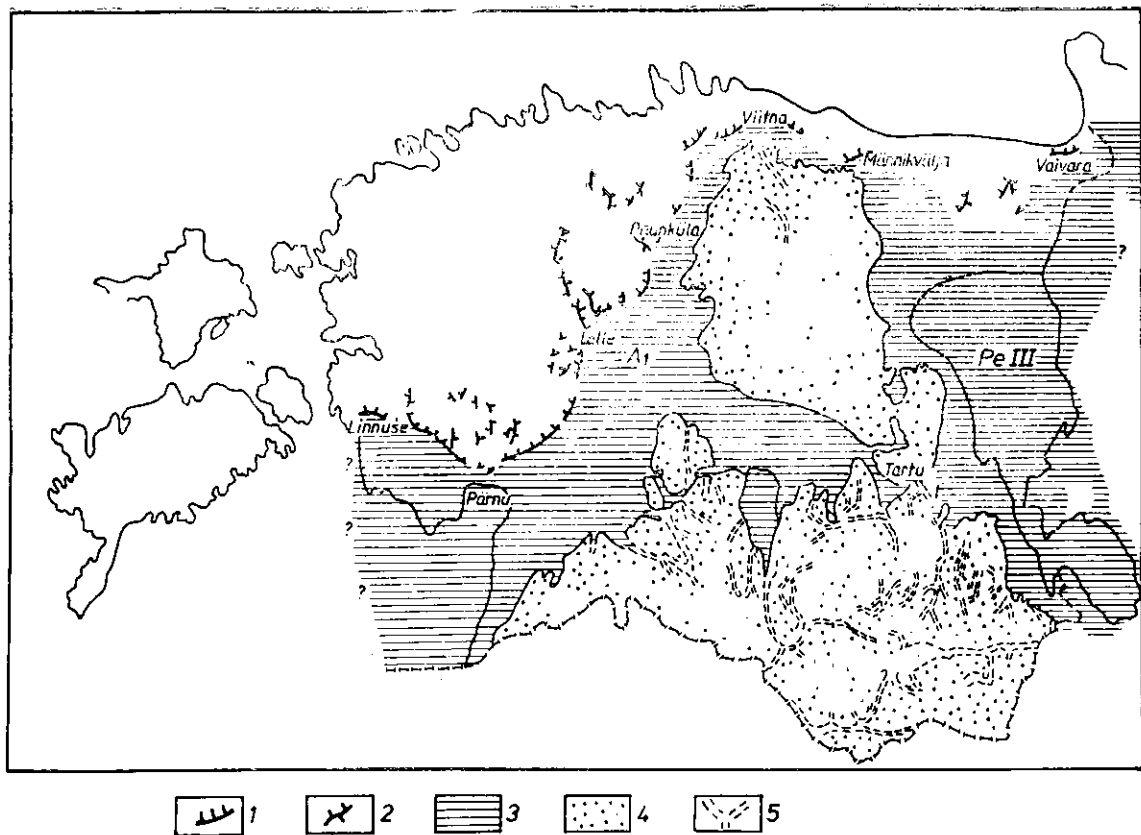
Minni Nurme

Jäiste kallastega järved

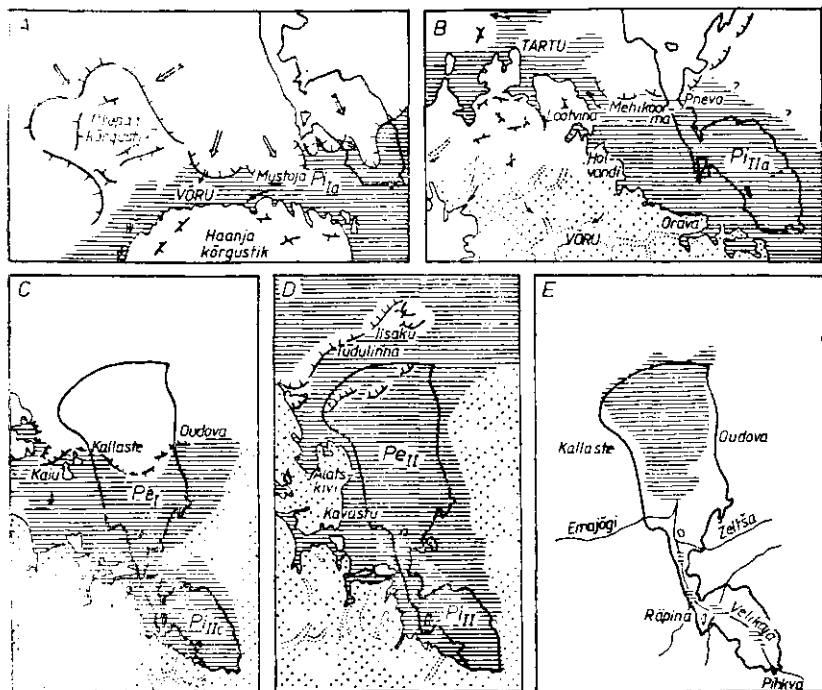
Jää sulas ja liustiku sulamisvesi otsis teed ookeani poole. Esialgu oldi kõikjal ookeanist jäälaamadega ära lõigatud. See-tõttu kujunesid taanduva liustiku ette suured jahedaveelised ja elustikuvaesed järved, kus majesteetlikult ujusid mitmesuguse kuju ja suurusega jäämäed. Vastavalt jää taandumisele või peale-tungile järvede veetase muutus. Et selliseid järvi paisutas liustik, kutsutakse neid jääpaisjärvedeks. Jääpaisjärvede pindala oli sadu ja isegi tuhandeid ruutkilomeetreid. Eesti geoloogilise arenguloo seisukohalt on eriti oluline suur kohalik Voose jääpais-järv, mida tähistatakse indeksiga A₁ (joon. 50). See järv kujunes mandrijää Pandivere kõrgustiku loodenõlvalt taandumise järel. Vesi hõivas Võrtsjärve ja Peipsi nõo ning ujutas üle Sakala kõrgustikust läände jääva ala. Selle üldjoontes Kõrg- ja Madal-Eesti piiri tähistava jääpaisjärve kõrgus on Pandivere loodenõlval 81—83 m, Peipsi nõo põhjaosas ligikaudu 70 m ja Sakala kõrgus-tikul 50 m. Kõrguse erinevused on tingitud maapinna erinevast kerkimisest, millest oli juttu eespool.

Väga keeruline ja huvitav oli jääpaisjärvede areng Peipsi-Pihkva nõos. Esialgu haaras järv enda alla ainult Pihkva nõo lõunaosa ja tal oli ülevool Võru-Hargla orundi kaudu Koivasse (joon. 51, A). Järve laienedes ja veepinna alanedes kujunes ühen-dus Võrtsjärve nõos olnud Võrtsjärve ja Laatre jääpaisjärve vahel ning väljavooluteeks sai Väikese Emajõe orund (joon. 51, B, C). Veelgi hiljem katsid Peipsi jääpaisjärve veed juba val-dava osa Ida-Eestist (joon. 51, D). Holotseeni alguseks kuivas senine hiidjärv maa tõusu ja mere alanud taandumise tõttu hoopis kokku ning vett oli ainult Suurjärve põhjaosas, nn. Väike-Peipsi järves, mille pindala jäi nüüdisjärvele tublisti alla (joon. 52, E).

Muistsete jääpaisjärvede levikut aitavad kindlaks teha läbi-pestud moreeni ja rohkete rändkividega abrasioonitasandikud, voorte, moreenküngaste ja teiste positiivsete pinnavormide nõlva-dele murrutatud rannaastangud ning viirsavide, liivade ja ale-uriitidega kaetud jääjärvelised kuhjetasandikud. Viimastega kaas-nevad kohati veeristest ja kruusast koosnevad rannavallid.



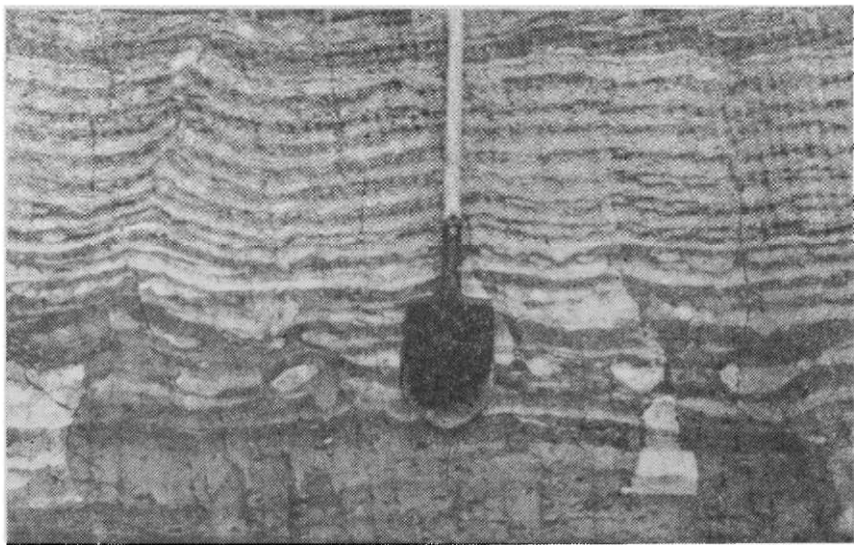
Joonis 50. Eesti geoloogilise arenguloo seisukohalt on eriti oluline Voore jääpaisjärv (A₁), mis tähistab Kõrg- ja Madal-Eesti piiri: 1 — liustiku serv, 2 — lõheline liustiku jää, 3 — jääpaisjärv, 4 — maismaa, 5 — liustiku sulamisvee orud. (E. Rähni, A. Miideli ja autori rekonstruktsioon.)



Joonis 51. Väga huvitav ja keeruline oli jääpaisjärvede areng Peipsi nõos. Järv kord laienes, kord taas vähenes. Hambulise joonega on näidatud taanduva mandrijää serva või irdjää asend. väikeste mustade nooltega liustiku sulamisvee voolusuund, valgete nooltega jää liikumise suund, punkteeringu abil jäävaba ala ja viirutusega jääpaisjärve territoorium. (E. Rähni ja autori rekonstruktsioon.)

Jääpaisjärvede eriti huvitav sete on rütmilise ehitusega viir-savi (joon. 52). Suvel kanti järvedesse rikkaliku sulamisveega rohkesti settematerjali, mille jämedam, liivakas-aleuriidikas osa settis kohe, peenem, savikas komponent jäi hõljuma ja settis jää-kaanega kaetud veekogudes talvel, kui settematerjali juurdevool praktiliselt puudus. Seega moodustus ühe aasta jooksul kaks ebaühtlase terasuuruse, värvuse ja paksusega kihikest, mis kokku annavad aastavarvi. Varvide loendamise põhjal on võimalik määrata konkreetse settekompleksi kuhjumiskiirust, erinevate koh-tade läbilõigete rööbistamise teel aga mandrijää taandumise aega, kiirust ning isegi absoluutset vanust kalendriaastates.

Varvomeetrilise meetodi esitas möödunud sajandi lõpul rootsi teadlane Gerard De Geer. Skaala reeperpunktiks sai Põhja-Rootsi

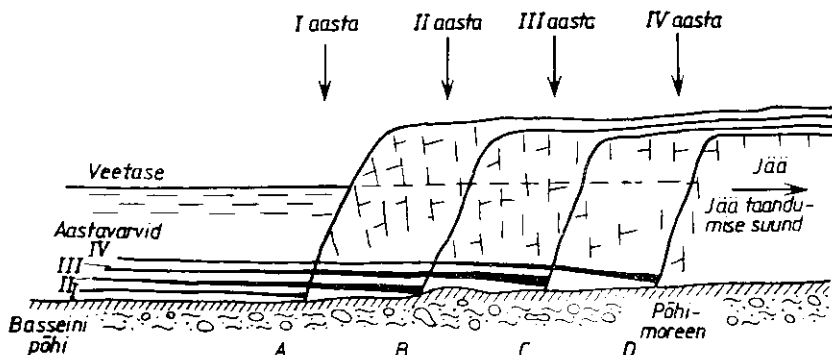


Joonis 52. Jääpaisjärvedes kuhjunud viirsavide heledam, liivakam osa settis kohe, peenem, savikam materjal jäi aga esialgu hõljuma ja settis talvel, kui järv oli jääkaanega kaetud. Tsirgulinna karjäär. Enn Pirruse foto.

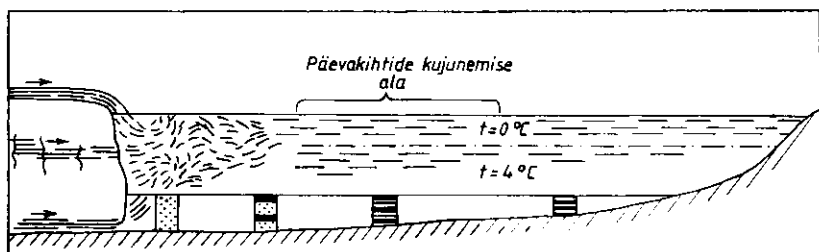
liustikuserva lähise Ragunda järve tühjakslaskmine 1794. a., millega seal viirsavide moodustumine lõppes.

Varvomeetria alused selguvad hõlpsasti jooniselt 53. Looduses pole varvide loendamine aga kaugeltki nii lihtne. Vahel on nad liustiku surve või veealuste libisemiste tõttu rikutud, kohati halvasti välja kujunenud, teisel aga lisandub neile aastavarvidest raskesti eristatavaid päevavarve. Pealegi olid basseinid üksteisest isoleeritud, mistõttu nende omavaheliseks rööbistamiseks tuleb kasutada suhteliselt ebatäpseid isotoopgeoloogilisi ja geofüüsikalisi meetodeid või üsnagi subjektiivset ekstrapoleerimist.

Oeldust selgub, et lisaks suve ja talve vaheldumisele ja vee-kogu jääga kaanetumisele on selge varvilise ehituse kujunemiseks ning säilimiseks vaja veel mitmeid lisatingimusi. Varvide moodustumiseks peab jääjärve sügavus olema üle 20 m. Kui vee-samba paksus on väiksem, ei jõua settematerjal veekogus diferentseeruda. Saviosakesed settivad sel juhul jämedama materjaliga enam-vähem üheaegselt ning rütmilist kihilisust ei kujune. Ei kujune ka jääserva vahetus naabruses, kuhu liustikult kandub jämedateraline ja väga kiiresti settiv liivakas ning kruusakas materjal (vt. joon. 54). Basseini jääservalähedases (proksimaalses)



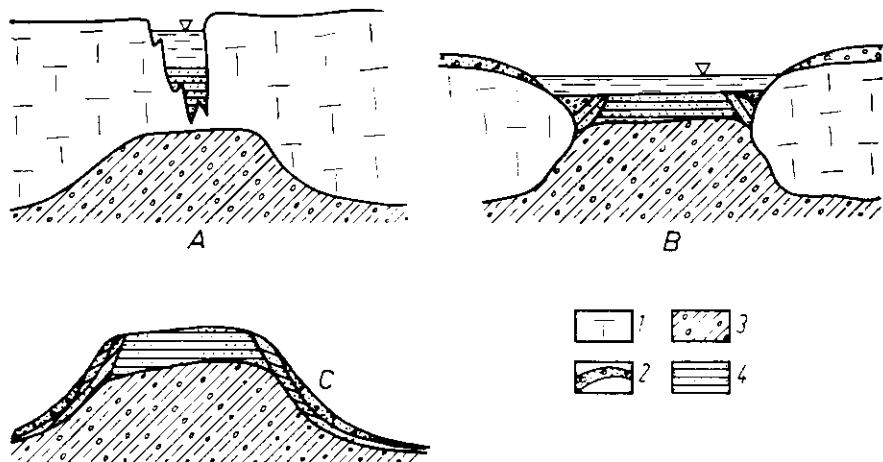
Joonis 53. Viirsavide aastavarvid on jälgitavad suurtel aladel, kuid nende hulk on suurem jääservast kaugemal. Sellelt Ivan Krasnovi koostatud jooniselt saab hõlpsasti selgeks, kuidas aastavarvide loendamise ja rööbistamise põhjal on võimalik määrata jääserva taandumise kiirust.



Joonis 54. Jääserva lähedal varve ei kujune. Neis basseini rahulikes osades, kus setete juurdevool oli suur, kujunesid aga lisaks aastavarvidele ka temperatuuri ööpäevastele kõikumistele vastavad päevärütmid. (Enn Pirruse rekonstruktsioon.)

osas, kus suvist settematerjali ohtralt juurde kandub, on suvekihid jämedalõimiselised ning suure ja muutliku paksusega, talvekihtidest vahel 10—20 korda paksemad.

Kõige ilmekamad ja ühtlasemad varvid kujunevad basseini keskosas 1—6 km kaugusel jää servast. Segadust tekitavad seal suvekihtides leiduvad päevavarvid, mõne millimeetri paksused ööpäevastele temperatuurikõikumistele vastavad rütmiliselt vahelduvad tumedad, savirikkamad ja heledamad, aleuriidirikkamad kihikesed. Päevavarvide arv Eesti viirsavides on väike. See kõne-



Joonis 55. Jääjärvetekkelise lavamõhna («zvonetsi») kujunemine liustikualuse moreenkünka kohal (Reet Karukäpa järgi): A — lõhede tekkimine liustikujäässe, B — jääst kallastega järv, C — pinnavormi läbilõige pärast liustikujää sulamist; 1 — liustikujää, 2 — sulavat liustikku kattev pinnamoreen, 3 — põhimoreen, 4 — jääjärve setted.

leb jää sulamisest ühtlastes karmides tingimustes, kus keskmine ööpäevane temperatuur võis ainult 1–2 kuu kestel olla tunduvalt üle 0°C .

Basseini kaugemas, distaalses osas on savide paksus märksa väiksem (tavaliselt alla 2 m) kui proksimaalses (kohati üle 15 m). See on ka loomulik, sest settematerjali kandus sinna suhteliselt vähe. Kuna veetase oli basseini distaalses osas madal, ei kujunenud varvilist struktuuri kaugeltki kõikjal. Selle asemel esinevad sageli kihitamata liivad, aleuriidid ja savid.

Viirsavide settimises oli mitmeid kohalikke erinevusi. Lõuna-Eesti saarkõrgustike viirsavide halb jaotumus suve- ja talvekihtideks viitab nende madalaveelistele tekketingimustele. Lõuna-Eesti tasandike vagumustes kujunesid seevastu sügavaveelised savid, mille rahulik settimine korduvalt vaheldus vooluvee toimega. Sellest kõnelevad savides leiduvad jämedateralised liiva ja kruusa vahekihid ning vooluvired. Savide varvomeetriliseks mõõdistamiseks kõige soodsamad settimistingimused olid Lääne-Eesti suurtes jääjärvedes, kuhu settematerjal kandus ühtse rindena kogu jääserva ulatuses.

Väikesed järvelised veekogud võisid kujuneda ka liustiku peal, all ja sees ning irdjääpankade vahel. Neisegi kuhjus jäis-

telt nõlvadelt liiva ning savi, mis pärast ümbritseva jää sulamist jäi katva mütsina varemkujunenud moreenküngastele või iseseisvate pinnavormidena — limnomõhnadena (järveliste mõhnadena) ka täiesti tasastele aladele (joon. 55). Eriti rohkesti oli selliseid järvekesi nähtavasti Otepää kõrgustikul. Nii lubavad oletada arvukad jääjärveliste savide lasundid mitmesuguse kuju ja suurusega positiivsetel pinnavormidel (Kuutse mägi 217 m ü.m.p., Savimägi 181 m ü.m.p. jt.) või nende vahelistes nõgudes (Pühajärve, Päidla, Juusa jt.).

Looduses on mõhnade siseehitus ja kuju väga mitmekesine, mistõttu uurijad pole mõhnade määramisel ühel meelel. Esialgselt mõisteti nende all aleuriidist, liivast või kruusast koosnevaid korrapäratu paigutusega, enam-vähem ümara põhijoonisega, lohkvormidega vahelduvaid künkaid. Hiljem selgus, et täpselt samasuguse koostisega on ka seljakulisi ja lavajaid pinnavorme, ning et küngaste koostises on savi. Seetõttu nimetatakse tänapäeval mõhnadeks väga erineva kuju ja koostisega pinnavorme, täpsustades vajaduse korral nende geneesi. Lisaks limnomõhnadele eristatakse vooluveetekkelisi fluviomõhnu ning keerulise koostisega segamõhnu, mille alumine osa koosneb näiteks jääpaisjärve-tekkelistest ehk limnoglatsiaalsetest, ülemine aga liustikujõe-tekkelistest setetest või vastupidi. Mõnikord vahelduvad pinnavormis limno- ja fluvioglatsiaalsed setted paljukordselt nii vertikaal- kui ka horisontaalsuunas. Mõnedel mõhnadel leidub moreeni. Siis nimetatakse neid moreenkatttega mõhnadeks.

Eesti mõhnastikud on suhteliselt väikesed, tavaliselt mõne ruutkilomeetri suurused. Suurim (20 km²) on järvederohke Illuka mõhnastik. Järvi on mõhnastikes harilikult vähem kui künklikus moreenmaastikus. Künkad paiknevad mõhnastikes enamasti korrapäratult, harvem esinevad jäaservaga rististe või rööpsete ridadena (Uko, Viitna, Taganurga jt. mõhnastikud). Eesti levinuim mõhnatüüp on kungasmõhnad. Need on ümarja põhijoonisega 5—25-m (Põhja-Eestis tavaliselt 5—10-m) suhtelise kõrgusega ja 5—25° nõlvakallakusega rühmiti esinevad kihitatud liivadest ja kruusadest koosnevad pinnavormid.

Seljakmõhnad on üleminekuvormiks ooside ja mõhnade vahel, mistõttu neid vahel kutsutaksegi oosmõhnadeks. Nende oose meenutavate sümmeetriliste nõlvade ja tasase laega pinnavormide pikkus on tavaliselt alla 1 km, kõrgus 5—20 m. Rohkesti esineb neid Lõuna-Eesti künklikel aladel. Setetest on neis esikohal kruus, kuid esineb ka liiva ning munakalist veeristikku.

Lavamõhnad on ümarja, ovaalse või ellipsikujulise põhijoonise ja tasase laega peamiselt aleuriitidest koosnevad pinnavormid. Sageli on lavamõhnade setted viirulised, aastavarvide loendamise põhjal võib nende vormide kujunemise kestuseks hin-

nata kuni paarsada aastat. Lavamõhnade nõlvakallakus ei erine küngasmõhnade omast, kuid kõrgus on neil tavaliselt suurem (harva alla 10 m). Kui küngasmõhnad esinevad enamasti tihedasti üheskoos, siis lavamõhnad asetsevad tavaliselt hajali. Kõige rohkem lavamõhnasid on Kirde-Eestis (eriti Metsaküla—Mäetaguse ja Iisaku—Jõuga ümbruses), kus nad paigutuvad kirde—edela-suunaliste enam-vähem rööpsete ridadena.

Terrassmõhnad on jääserva ja kõrgendike vahele kujunenud tasased ja kitsad liiva- ning kruusaväljad. Eestis on need harilikult seotud oosidega (Iisakul, Neerutis jm.).

Lähtudes asendist jääserva suhtes jagatakse mõhnad radiaalseteks (Illuka, Uko, Viitna jt.) ja marginaalseteks ehk piki- ja põikmõhnadeks (Kaiu, Selguse, Tõljase, Mägede, Pärnamäe, Taganurga jt.). Kuid nad võivad olla ka jääserva asendist sõltumatud ehk indiferentsed.

Mõhnade kujunemist nüüdisliustikel pole veel kellelgi õnnestunud uurida. Seepärast ei oska me rahuldavalt seletada kõiki mõhnade kujunemisega seotud küsimusi.

Kuna mõhnad esinevad harva koos voorte ja survealiste otsamureenidega ning neis puuduvad jää survest põhjustatud rikked, loetakse neid enamasti irdjää või passiivse jää vormideks.

Nagu öeldud, kujunesid horisontaalkihilistest setetest koosnevad limnomõhnad liustikujärvedes. Vastavalt kujunemiskohale eristatakse supra-, intra- ja subglatsiaalseid ning pankadevahelisi mõhnu. Esimesed on kujunenud liustiku pinna lohkudes ja nõgudes, teised liustikusisestes tühemikes ja lõhedes, kolmandad jääalustes koobastes, neljandad aga liustiku põhjani ulatunud nõgudes ja irdjää pankade vahel. Liustikuserva-esiseid mõhnu nimetatakse lateraalseteks.

Rahutu kihilisusega, suhteliselt jämedateralistest setetest koosnevad fluviomõhnad on tõenäoliselt kujunenud lõhederohke jääserva ja irdjää pankade vahelistes avatud lõhedes valdavalt vooluvee toimel. Pole võimatu, et osa mõhnade ja ooside vahelisi üleminekuvorme on kujunenud lõhederikka jääkeele alustes või sisestes tunnelites, mille sage kokkuvarisemine sulges kord siin, kord seal väljavoolu ega võimaldanud pidevate ooseljakute kujunemist.

Mõhnastikele iseloomulik künklik reljeef võib tekkida ka jääserva ette kuhjunud deltast peale irdjää pankade sulamist. Sulamiskohtadele kujunesid lohkvormid, viimaste vahele jäid varikaldeliselt järskude nõlvadega ümarjad künkad, mille sisemuses esinevad valdavalt horisontaalkihid, pindmises osas aga nõlvadega paralleelsed kallakkihid. Sellisel viisil võis kujuneda näiteks Illuka mõhnastik, mis asetseb kunagise 40—50 m sügavuse liivade ja kruusadega täitunud Vasavere oru kohal.

Kohati pole mõhnade morfoloogia enam esialgse sarnane. Mandrijää taandumise järel olid paljud neist veekogudega kaetud. Lainetus, vooluvesi ja nõlvaprotsessid võisid oluliselt muuta nende välimust. See teeb mõhnade geneesi uurimise veelgi komplitseeritumaks.

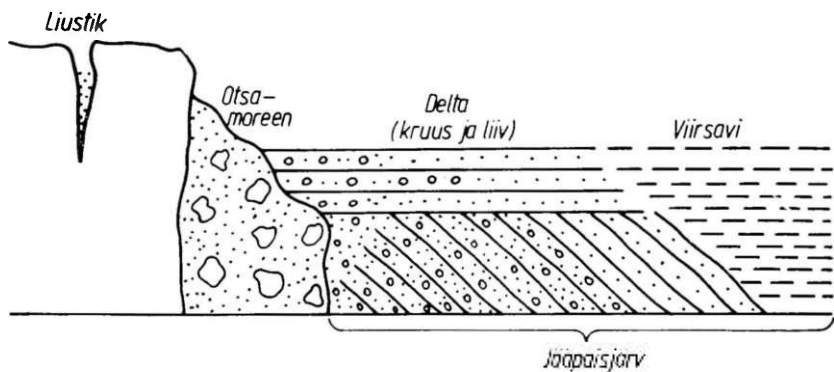
Paljudele uurijatele on «mõhn» kahtlemata üsna võõras ja ehk isegi veidi naljakas termin. F. J. Wiedemanni sõnastikust nähtub, et eesti keeles on see päka, muhu, mõlgi, ka kõrgendiku ja künka tähenduses juba väga pikka aega kasutusel olnud.

Liustikujõgede looming

Mandrijääst vabanenud aladel kujunes tihe vetevõrk. Osa jõgedest voolas rahulikult jääservast eemal asuvatesse veekogudesse, teised murdsid kärestike, koskede ja jugade kaskaadina teed madalamatesse paisjärvedesse, kolmandad puresid veel liustikku ennast. Vastavalt asukohale eristatakse liustikusiseseid, liustikuservaesiseid ja liustikuväliseid jõgesid. Viimased olid nagu jõed ikka ja neil me lähemalt ei peatu. Küll aga püüame avada jääsiseste ja jääservaesiste pinnavormide keerukat ja seni veel vaieldavat tekkelugu.

Nagu Islandi, Gröönimaa jt. nüüdisliustike uurimised on näidanud, väljub sulamisvesi liustikualuste jõgedena ja ojakestena enamasti kogu liustikuserva ulatuses. Kui liustiku ees laiub tasandik, siis puudub neil vooludel kindel säng. Nad ühinevad, siis jälle hargnevad ning kujundavad distaalses suunas madalduvaid, tavaliselt liivast ja kruusast koosnevaid koonusetaolisi kuhjatisi, mis omavahel liitudes moodustavad suhteliselt tasase pinnaga sandureid. Sandurid kujunevad kas vahetult jääserva ees või on viimasest otsamoreeniga eraldatud. Jääservale lähemal on setted paksemad ja terad suuremad, kohati esineb isegi jääservast lahtimurdunud moreenist pärinevaid suuri rahne. Sandureid kujundavate voolude intensiivsus on muutlik, mistõttu kiiresti vahelduvad ka nende lõimis ja kihilisus. Enamasti valitseb distaalses suunas langev kallakkihilisus, kuid selle kõrval esineb ka rõhtse ja lainelise kihilisusega erimeid. Setete sorteeritus on halb, vähekindel purdosakeste hulk suur.

Sageli kohtame kirjanduses orusanduri mõistet, mida meil kasutatakse ebaõiges tähenduses. Orusanduriks saab nimetada ainult sellist liustikujõgede moodustist, mis on kuhjunud varasema vooluvee või teiste geoloogiliste jõudude (näiteks tektoonika) kujundatud orus või vagumuses. Kui liustiku sulamisvesi voolab enda uuristatud orus, moodustub tavaline jõgi, mis jätab maha jõesetteid. Ei saa ju lugeda Kubani, Tereki, Amudarja jt. jõgede setteid fluvioglatsiaalseteks pelgalt seetõttu, et need jõed toituvad liustikest. Fluvioglatsiaalseteks saab nimetada vaid liustiku sees, all ja peal või vahetult tema ees kujunenud setteid. Orusandureid meil vanade vagumuste piires, eeskätt Lõuna-Eestis, kaht-



Joonis 56. Vahetult liustikuserva ees kujuneb tavaliselt sorteerumata rahnudest, veeristikust, kruusast ja liivast koosnev otsamoreen. Kui liustiku ees laiub vee-kogu, siis kujuneb liustikust lausaliselt väljuvate liustikujõgede suudmes vähesor-teerunud veeristikust ja kruusast, kaugemal aga hästisorteerunud kruusast ja lii-vast koosnev fluvioglatsiaalne delta, mille alumised kihid on kaldu, ülemised aga rõhtsad. Veelgi kaugemal jääservast kujunevad rõhtkihilised aleuriidid ja viir-savid.



Joonis 57. Fluvioglatsiaalse delta alumised, vee all kujunenud kihid on järsult kaldu distaalses suunas, neid katvad õhukesed vee peal kujunenud kihid aga enam või vähem rõhtsad. Anto Raukase foto.



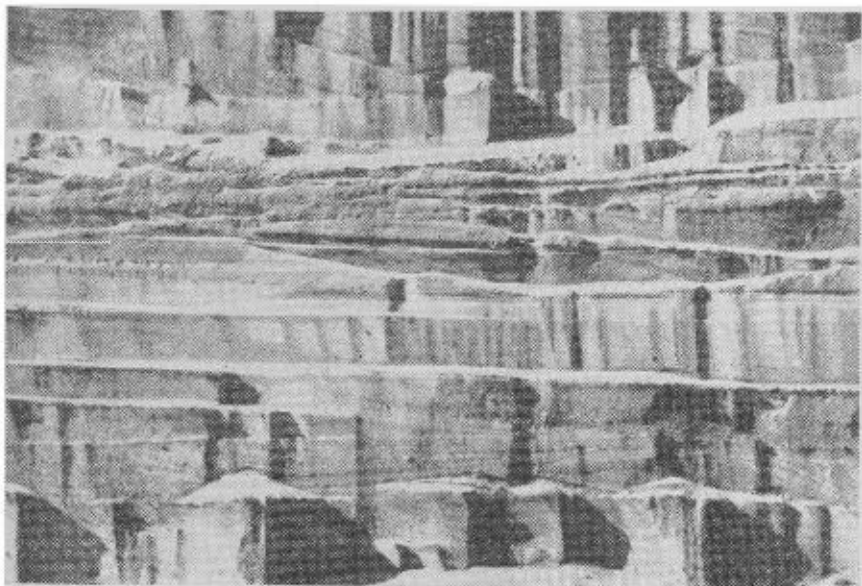
Joonis 58. Enamik Eesti laudasastest, kohati luitestunud liivikutest on geneesilt jääpaisjärvedes kuhjunud fluvioglatsiaalsed deltid. Fotol on näha Pühamäe delta Põhja-Eestis. Anto Raukase foto.

lemata esineb, kuid neid on raske eristada hilisjäaaegsetest jõe-setetest, mille hulk on märksa suurem.

Orusandur, mida ehk õigem oleks nimetada nõosanduriks, on 6 km pikkune ja 1,5—2,5 km laiune Elva liivik, kujunenud vana vagumuse kohal voolanud veerohkes väinjões.

Kui liustiku ees laiub veekogu, moodustuvad liustikust lausaliselt väljuvate liustikujõgede suudmealadel deltid, mis omavahel liitununa moodustavad fluvioglatsiaalseid deltid (joon. 56). Nagu delta ikka, koosneb ka fluvioglatsiaalne delta kahest kihi-kompleksist: vee all kujuneb alumine, valdavalt kallak kiht, ja seda katab õhuke vee peal kujunenud enam või vähem rõhtne kiht. Kihtide vahelist piiri saab kasutada kohalike jääpaisjärvede taseme kindlakstegemiseks (joon. 57). Kohtades, kus fluvioglatsiaalseid tasandikke on hiljem uhtunud meri, võib deltid üle-mine kihtide kompleks puududa, mistõttu sandurite ja deltid eristamine Madal-Eestis ilma sügavate karjäärideta on sageli võimatu. Mandrijää seisuasendeid tähistavad ulatuslikud liivaväljad Männikul, Nõmmel, Tallinna ja Kunda vahemikus (joon. 58) jm. on kahtlemata jääpaisjärvedes kuhjunud.

Liustikust kaugenedes väheneb delta setete terasuurus. Oma-aegse liustikuserva läheduses kuhjusid tugevasti kallakihiline jämedateraline vähesorteerunud veeristik ja kruus. Veekogu

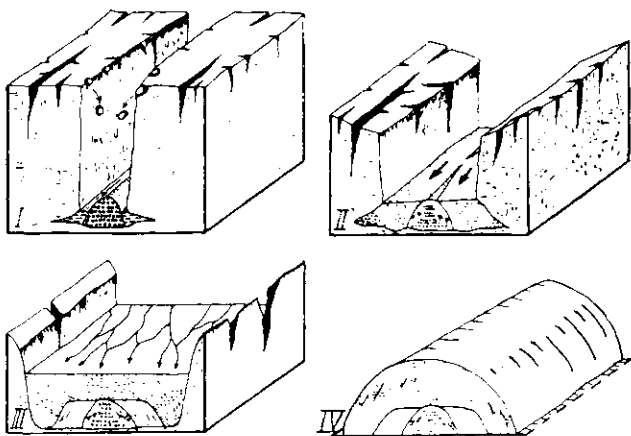


Joonis 59. Liustikuservast kaugemal, jääpaisjärve keskosas on valdavad peaaegu rõhtkihilised hästisorteerunud liivad ja kruusad. Sinna ei ulatu liustikelt laskuvate jõgede tormitsev vool. Anto Raukase foto.

keskosas on esikohal peaaegu rõhtkihiline hästisorteerunud kruus ja liiv (joon. 59), mis liustikuservast veelgi kaugemal asenduvad lainjaskihiliste aleuriitidega.

Liustikujõelised setted võivad kuhjuda ka jääveerulistes sängides. Sel juhul kujunevad ümbritsevate jääseinte sulamise järel looklevad, kuni 30—40 m kõrgused (Neeruti, Iisaku) järsunõlvälised (tavaliselt 10—30°, harvem kuni 42°), raudteetammi meenutavad vallseljakud ehk oosid. Need moodustuvad kas jääalustes, -sisestes, -pealsetes või -esistes sängides ning vastavalt geneesile on ka setete ehitus ja koostis neis erinev.

Ooside tekke kohta on loodud palju muistendeid, mis meie rahvapärimustes on enamasti seotud Kalevipoja vägitegudega. Oose nagu vooresidki on peetud Kalevipoja künnivagudeks. Kus vagu on sügavam ja laiem, seal olevat Kalevipoeg hobust piitsaga löönud ja see tõmmanud atra tugevama jõuga. Pandivere kõrgustiku kõrgeima tipu, Emumäe vallseljaku olevat kokku kuhjanud Kalevipoja sõjaratsu. Kalevipoeg olnud vägev tööriigaja, aga ka suur unimüts. Pannud vägimees hobuse kammitsasse ja peagi kõlanud vali norkamine, nii et linnud vakatanud ja mets-



Joonis 60. Selliselt kujutab lahtises jäälõhes oosi kujunemist ette poola uurija Piotr Klysz. Esmalt (I) kujuneb pinnamoreenist väljasulanud ja jäälõhesse langedud kividest oosi jämedateraline tuumik, seejärel (II, III) kuhjub liivakas-kruusakas materjal, mis peale ümbritsevate jäiste nõlvade sulamist valgub varikalde- liselt järskude nõlvadega oosiks (IV).

loomad tõmmanud kõrvad pea ligi. Ega näljased hundid norskamisest välja teinud, hiilinud juurde ja kohe hobust näksima. Hobune hakanud surmahirmus maad kaapima ja nii pildunudki oma kammitsas jalgadega Emumäe kokku.

Ega ooside esimesed teaduslikud tekketeooriad palju usutavamad olnud. Näiteks luges akadeemik Fr. Schmidt oose kaua aega rannavallideks.

Praegu ei kahtle enamik uurijaist, et oosid on tekkinud liustikujõgedes. Et ooside morfoloogia ja siseehituse erinevused on suured, on ka rohkesti kujunemisteooriaid, igaühel oma head ja vead. Jämedates joontes võib need liigitada kas jää-, delta-, söngi- või tunneliteooriasse.

Rootslase Gumaeliuse 1876. a. esitatud jääteooria kohaselt koosnevad pikioosid mandrijää liikumise suunas paiknevatest sisemoreenikuhjatistest, mis pärast jää sulamist maapinnale jäänud.

G. De Geeri deltateooria kohaselt kujunesid oosid taanduva mandrijää lõhede suudmealal deltakuhikute järkjärgulisel liitumisel. Jääalustes ja jääsisestes lõhedes suure hüdrostaatilise surve all liikuva veevoolu kantav materjal settis vahetult jääserva ees, kus voolu hiiglajõud järsult vähenes.

Sängiteooria rajajaks on rootslane N. Holst, kuid eriti suuri

teeneid selle põhjendamisel on soomlasel V Tanneril. Sängihüpoteesi kohaselt kujunesid oosid jääseintega ümbritsetud orgudes. Jääserva suunas voolanud liustikujõed võisid voolata jää pinnal, kuid kohtades, kus nad oma voolusängi maapinnani kulutasid, ka maad mööda. Jääseinte sulamise järel tõusis setetega täitunud jõesäng ümbritsevatest aladest oosina kõrgemale (joon. 60).

Tunneliteooria loojad P. W. Strandmark, H. Philipp jt. oletavad ooside kujunemist jääsisestest või jääalustes tunnelites, mille ummistumine põhjustas tunneli setetega täitumise. Jääseinte sulamisel jäid setted oosidena maha.

Kõik ooside tekketeooriad, üks suuremal, teine vähemal määral, on rakendatavad ka Eesti ooside geneesi tõlgendamisel. Suurem hulk Eesti oose on arvatavasti kujunenud sängiteooria kohaselt avalõhedes, millega hästi seletub nende looklevus ja setete terasuuruse vaheldumine (näiteks Aravete oos). Pikkade, järsunõlvaliste ja teravaharjaliste ooside (Piibe, Mägiküla, Eeriku jt.) geneesi selgitamiseks sobib kõige paremini tunneliteooria. Oosivorm kujunes seal arvatavasti jääseinte sulamise järel settematerjali laialivalgumisest, mis tekitas varikaldeliselt järskude nõlvadega seljakuid. Ka kohati moreeniga kaetud (Neeruti), mattunud orgusid lõikavad (Loobu ja Valgejõe orus), vastu alusreljeefi kallakut kulgevad (Mõdriku—Paasvere) ja põimuvad (Koeravere) oosid on tõenäoliselt kujunenud liustikutunnelites. Tunneli suudme kinnivajumine sundis veevoolu uut väljapääsu otsima, mille tulemusena varasema deltakuhiku kõrvale kujunes uus, paralleelne või lõikuv. Võimalik on, et osa lõhedest ulatus maapinnani ning rööpsete ooside vahelised nõod tekkisid liustikujõe sängis saari moodustanud ja settematerjali kuhjumist takistanud jäätükkide kohale.

Jääaluse pinna olulisele tähtsusele Eesti ooside kujunemisel viitab fakt, et enamik meie oose järgib maapinna reljeefi. Nõgude ja orgude kohal jää lõhenes, mistõttu paljud oosid on tekkinud vanades orgudes. Näiteks paikneb vanades orgudes või nende läheduses enamik Sakala kõrgustiku suurematest oosisüsteemidest (Välgita—Saarepeedi, Sinialliku—Loodi, Tääksi-Kehklase, Kobruvere jt.). Lavadel asetsevaid, orgudest sõltumatuid oose esineb Sakala kõrgustikul harva ja need on mõõtmelt väiksemad (Lahmuse, Paksu, Napsi jt. oosid). Vanad orud põhjustasid mandrijää lokaalsete liikumissuundade ja kiiruse muutusi ning pingevõotmete tekkimist. Jääteooria järgi koondub viimastesse alati hulgaliselt sisemoreeni ning eeldusi lõhede ja vastavalt sellele ka suurte ooside kujunemiseks on rohkem kui mujal.

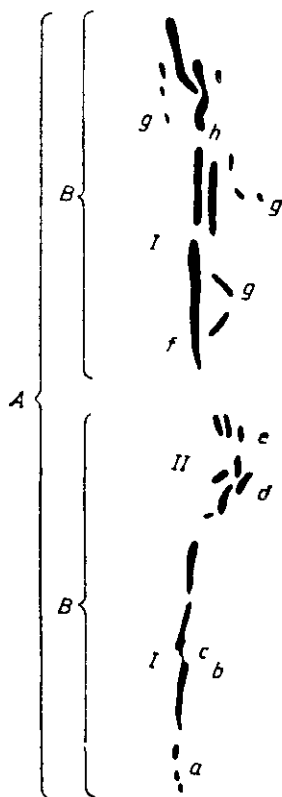
Meil arvukate katkendlike oosiahelike ja komeetooside (joon. 61) genees seletub kõige paremini deltateooriaga. Horisontaal-



Joonis 61. Uljaste komeetoos. Avo Miideli foto.

kihilised laiad lavaoosid on arvatavasti sündinud laiades, nõrga läbivooluga lõhedes.

Need tekketeooriad seletavad sümmeetrilise ehitusega, horisontaalse või mõlema nõlva suunas ühtlase paralleelse kallakkihilisusega pikiooside kujunemist, kuid ei anna vastust liustikuserva ees kujunenud ebasümmeetrilise ehitusega põikooside tekkele. Põikooside jääpoolisel nõlval on setted tavaliselt jämedama löimisega kui vastasnõlval ja kihid on enamasti kallutatud distaalses suunas. Sellised suhteliselt kitsad (mõnekümnest meetrist kilomeetrini) ja enamasti väga pikad liustikuserva asendit tähistavad ooside ahelikud (Risti—Palivere vöönd, umbes 60 km; Linnuse—Audru—Sauga—Lelle—Paluküla—Pärnamäe vöönd, ligikaudu 150 km) on tekkelt fluvioglatsiaalsed deltad ja erinevad viimastest vaid vallikujulise vormi ja väiksema laiuse poolest. Nad on kujunenud liustikulõhede ette kuhjunud deltakuhikute liitumisel. Tõsi, on ka sümmeetrilise ehitusega põikoose (Paunküla ja Vahastu ning Sonni ja Nõmmküla vahemikus jm.), mis kujunesid arvatavasti passiivse jää ja irdjää vahel asunud lahtistes lõhedes, seetõttu ei erine nende kuju ja siseehitus pikiooside omast.



Joonis 62. Endel Rähni poolt välja töötatud pikiooside klassifikatsioon. A — oosistu, B — oosistik; I — ooside ahelik, II — ooside kogumik; a — ooskuhik, b ja c — oosilüli, d — korrapäraselt paiknevad oosid, e — rööpsed oosid, f — peaoos, g — kõrvaloosid, h — keskne oos.

Eelmises peatükis oli juttu fluviomõhnadest ja oosmõhnadest, mis samuti on liustikujõgede lapsed. Kuidas eristada oose fluviomõhnadest? T. C. Chamberlin arvas möödunud sajandi lõpul, et tüüpilised mõhnad on tekkinud aktiivses jääs, oosid aga passiivses või koguni irdjääs. Hilisemad uurimused on selgitanud, et nii oosid kui ka mõhnad on peamiselt passiivse jää ja irdjää vormid ning nende eristamisel tuleb aluseks võtta morfoloogilised tunnused. Mõhnad on eeskätt künkad ja kuplid, harvem vallikujulised või lavajad vormid, oosid seevastu pikad seljakud. Kui piiripanek on raske, nimetame vormi oosmõhnaks.

Vastavalt Endel Rähni poolt soovitatud pikiooside klassifikat-

sioonile (joon. 62) nimetatakse oosiks pikliku kujuga liustikujõe setetest koosnevat pinnavormi, mille pikem telg on lühemast vähemalt kaks korda pikem. Väikest oositaolist moodustist, mille pikkus ei ületa kahekordselt laiust, nimetatakse ooskuhikuks (*a*). Oosiahelikus eristuvat laiemat (*b*), kitsamat (*c*) või kõrgemat kohta nimetatakse oosilüliks. Kahest või rohkemast ridamisi asetsevast oosist moodustub ooside ahelik (*I*), korrapäratult (*d*) või rööpselt (*c*) paiknevaist oosidest aga ooside kogumik (*II*). Ühest või mitmest koostise või morfoloogia poolest terviklikku rühma moodustavast ooside ahelikust saame oosistiku (*B*), ooskuhikute, ooside ahelike ja oosistike geneetiliselt terviklikust kogumist aga oosistu (*A*). Suurim pikiooside ahelik Eestis on 42 km pikkune Siimusti—Ebavere oosistu.

Ooside aheliku või oosistu kulgu tähistavat, kõige selgemini väljakujunenud oosi nimetatakse peaoosiks (*f*), selle kõrval olevaid aga kõrvaloosideks (*g*). Kõrvalooside vahele jäävaid rööpsid või põimuvaid oose nimetatakse ka keskseteks oosideks (*h*).

Hajali esinevaid tilgakujulisi ooskuhikuid nimetatakse komeet-oosideks (joon. 61). Ühtedel komeet-oosidel (Rakvere) on proksimaalne osa kitsas, järsunõlvaline ja jämedatest setetest koosnev, peeneteralise kruusa ja liivaga kihitatud distaalne osa lai, tasase lae ja suhteliselt lamedate nõlvadega. Teistel (Uljaste) seevastu on laiem ja peenemateraliste setetega just oosi proksimaalne osa.

Pikiooside laius kõigub mõnekümne kuni mõnesaja meetri piires. Vahel on nende harja laius kõigest paar meetrit. Laiuse ja kõrguse suhte järgi jagunevad oosid kitsasteks (suhe kuni 7:1) ja laiadeks (rohkem kui 7:1). Tasase laega oose nimetatakse lava-oosideks. Oosi nõlvad võivad olla sirged, kumerad või nõgusad, hari terav, kumer või tasane, harjajoon kas sirge või lainjas. Jalamijoon võib olla sirge, sopiline või ebamäärane. Sageli on ooside vahel või ahelikest ida ja kirde pool glatsiokarstilisi lohke, mõnedes maalilised järved (Nelijärve). Harvem on sellised sulglohud oosi harjal (Uljaste, Rakvere). Esineb oose, mille väliskuju on paljude kilomeetrite vältel ühesugune. Teisal on see kiiresti muutuv ja ooside ahelik koosneks nagu üksikutest ooskuhikutest.

Võimalik on, et iga sellise kuhiku moodustumiseks kulub aasta. Sel juhul saaks kuhikute vahelisi kaugusi kasutada mandri-jää taandumiskiiruse hindamiseks. Tapa ja Ohpalu ooside tsentrite vahekaugus on valdavalt 25—50 m, mis oluliselt ei erine Põhja-Eesti aastamoreenide vahekaugusest (Vatku ümbruses 70—80 m).

Liustikujõgede setete paksus on varieeruv (mõnekümnest sentimeetrist 30—40 meetrini) ja ka nende lõimis on väga muutlik. Munakastiku, veeristiku, jämeda kruusa ja liiva vaheldumine

õhukeste aleuriidi- ja savikihtidega vihjab sulamisvee hulga ning voolukiiruse sagedastele ja järskudele muutustele. Aineliselt koostiselt on vaadeldavad setted lähedalasuva moreeni sarnased. Õieti ongi sulamisvesi need moreenist välja uhtunud. Moreenist erinevalt on nende koostisosad paremini ümardunud ning neis leidub rohkem kulutusele ja murenemisele vastupidavaid kristalseid kivimeid. See on ka loomulik, sest kiirevoolulistes liustikujõgedes purunesid pehmemad kivimid, eeskätt liivakivid, merglid ja savi- kad lubjakivid. Samal põhjusel on kristalsete kivimite seas mõne- võrra vähem gneisse kui moreenides. Enamik liustikujõeliste setete jäme purrust on mõne kilomeetri kauguselt kohale kantud. Harva leidub neis settes 16—20 km kauguselt pärinevaid veeri- seid, veelgi kaugemalt toodud kivimid praktiliselt puuduvad.

Liustikujõe-tekkelisi setteid esineb pindalaliselt (4,2% meie vabariigi territooriumist) moreenidest (47%) märksa piiratumalt ja neid on vähem isegi limnoglatsiaalsetest setetest (5,6%), kuid nad annavad põhiosa 15—16 miljonist m³ ehitusliivast ja kruu- sast, mis meil aastas kaevandatakse. Et liiva ja kruusa varud on paljudes rajoonides lõpukorral, on vaja neid heaperemehelikult kasutada.

Oleksime ebaõiglasel, kui unustaksime liustikujõgede teise külje, nende uuristava toime, kuid sellest lähemalt jõgedest rää- kides.

*Elu ilma homse selguseta on nagu
ilma tiibadeta vares — ei ta lenda,
ei ta mune.*

Stasys Kašauskas

Kas on oodata uut jääaega?

Igal aastal saadetakse taeva avarustesse uusi kosmoselaevu. «Küllap see ongi ilma ära rikkunud,» olen kuulnud paljusid väitmas. Mis on juhtunud ilmaga? Mis suunas areneb kliima? — need küsimused erutavad inimesi praegu palju rohkem kui kümme aastat tagasi.

Muutlikku ilma ja kliima muutumist ei tohi ära segada. Ajaloosel ajal pole kliima Maal oluliselt muutunud, küll on aga sageli kõikunud. Kõikumised on olnud tsüklilised.

Varasemast kliimast annab huvitavat teavet põhjaalade geograafiliste avastuste ajalugu, eeskätt Gröönimaa asustamine viikingite poolt, mis toimus 10. sajandil. Kui Eirikr Raudi (Eirik Punane) 982. aastal oma meestega Gröönimaale jõudis, rõõmustasid nende pilku arvukad rohelised fjordid, kus oli võimalik isegi karja kasvatada. 11. sajandil elas Gröönimaa edelaosas juba ligikaudu 4000 viikingit. Ent 12. sajandi keskel alanud kliima jahe-nemine sulges Islandilt Gröönimaale kulgevad mereteed paak-jääga ja sundis esmaasukad saarelt peagi lahkuma. Viimane laev Euroopast suundus sinna 1377. aastal. Seejärel jäi maailma suurim saar sajandeiks unustusehõlma. 15.—18. sajandil «väikesel jää-ajal», mille külmamaksimumiks loetakse aastaid 1550—1750, oli saar aastaringi jääst ümbritsetud ning tollastele laevadele ligipääsmatu.

17. sajandil jäid karmide talvede tõttu inimtühjaks paljud külad Tiroomi Alpides, samuti Kaukaasias, kus laviinide «valge surm» hävitas Bolšoi Zelentsuki ja Teberda jõe ääres asetsenud külad. Jäine hingus ulatus ka lõunapoolsetele tasandikele, Lõuna-Prantsusmaal hävisid oliivisalud, Bosporuse väin ja isegi Aadria meri ning Genua laht kaanetusid mõnedel aastatel jääga.

Eesti rahva ajaloost on hästi teada rasked aastad 1695—1697, mil «jumal karistas» Eesti- ja Liivimaa erakordselt külmade ja vihmaste suvedega, mistõttu hein läks raisku ja vili ei küpsenud. Sellistele suvedele järgnesid karmid lumerohked talved. Nendel aastatel kaotasid Põhja-Läti, Eesti ja Lõuna-Soome umbes viien-diku oma rahvastikust. Nälginud elanikud ei suutnud surnutele külmunud maapinda enam haudugi kaevata.

Aeg-ajalt inimestele õnnetusi põhjustanud tugevast pakasest, rahesadudest, üleujutustest ja sagedastest suvekülmadest räägivad ka vene kroonikad.

Muide, lauskmaal ja mägi-aladel valitsenud tugevate külmade maksimumaeg ei lange omavahel täiesti kokku. Jääliustikud hakkasid laienema ja peale tungima mõningase hilinemisega, kui tasandikel olid juba ammu karmid talved ja mered pikka aega jääga kaanetunud. Liustike kasv vajab aega. Enne peab mäetippudele kogunema lund, see peab muutuma sömerlumeks ja liustiku-jääks, alles siis saab alata liustike pealetung.

19. sajandi teisel poolel hakkas temperatuur pidevalt tõusma ning on praegugi paari kraadi võrra kõrgem kui «väikesel jää-ajal». Ajavahemikul 1890—1945 tõusis meie planeedi keskmine aastatemperatuur umbes 0,7 kraadi, pooluste lähedal oli ilm koguni mitu kraadi soojem. Näiteks kahekümnendate aastate keskpaiku oli Teravmägede rannikualal keskmine temperatuur kuus kraadi kõrgem kui eelmise sajandi lõpul, Põhja-Jäämeres vähenes triivivate jäämägede mass 40 aasta jooksul ligikaudu kahekordselt, metsalindude levikuala ja põlluharimise piir laienes pooluse suunas kohati rohkem kui 200 km, mägedes kerkis lume-piir (Peruu Andides 900 m), Maa kliima ühtlustus.

0,7 kraadi paistab esimesel pilgul olevat üsna tühine suurus, kuid sellest piisas, et sulatada 6% maakeri jääväljade pinnast. Arktikas vähenes jääkatte pindala 10% ja paksus 30%.

Siis aga saabusid 1940. aastate külmad talved ja sellest ajast alates on keskmine aastatemperatuur pidevalt langenud, näiteks Arktikas 30 aasta jooksul 0,4° Põhjaaladel sunnib tundra taas metsi taanduma, linnud pesitsevad kaugemal lõunas kui varem, suurenevad suve ja talve ning lõuna- ja põhjaalade temperatuuri-contrastid. Viimase kahekümne aasta jooksul on Põhja-Atlandi vee aasta keskmine temperatuur alanenud 12 kraadilt 11,5 kraadile ja jäämägesid on näha üha kaugemal lõunas. 1972/73. aasta talvel nähti neid umbes Lissaboni laiusel, võrreldes sajandi esipoollega seega rohkem kui 400 km lõuna pool. Jääkatte all olev pindala suurenes põhjapoolkeral 12% võrra.

Paljudes piirkondades on ilm põhjustanud enneolematuid vipe-rusi. Põhjanabal registreeriti viimase 200 a. madalaim talvine temperatuur, Islandil saadakse varasemast veerandi võrra kasina-mat heinasaaki, Briti saartel on vegetatsiooniperiood kahe nädala jagu lühenenud, 1973. aasta augustis hävitas lumetorm Kanada preeriatel nisusaagi, ööl vastu 19. juulit 1976. aastal hävitas külm Brasiilias kogu kohvisaagi ja suure osa kohviistandustest. Külma-laine kordus 1979. aasta maikuus. 1980.—1981. aasta talvel langes temperatuur USA kirdeosas Uus-Inglismaal —45 kraadini, külma

tõttu hukkus 46 inimest. Floridas langes temperatuur kuni -10°C ja okstel külmus 90% apelsinisaagist.

Väga tige oli ka 1987. a. talv. Rohkest lumest tingitud ummistused halvasid liikluse enamikus Kesk- ja Lääne-Euroopa riikides (Suurbritannias, Prantsusmaal, Belgias jm.). Lumesaju tagajärjel olid paljud asulad välismaailmast ära lõigatud. Lumevangi jäänud piirkondade elanike jaoks kasutati toiduainete kohaletoimetamiseks helikoptereid ja soomustranspordit. Koolides katkestati õppetöö ja suleti mitmed tööstusettevõtted, sealhulgas USA kompanii «Ford» automonteerimistehas Gentis (Belgias) jpt.

Paljudes elamutes ja ühiskondlikes hoonetes langesid rivist välja küttesüsteemid ja elektrivõrgud. Tehniliste riketega kaasnemisid plahvatused ja tulekahjud, mille tagajärjel üksnes Belgias hukkus üle 20 inimese. 14. jaanuaril külmus Prantsusmaal surnuks 12 inimest.

Suur-Kaukasuse lõunaosas saabus uus aasta enneolematute lumesadudega. Lumikatte paksus ulatus 5 meetrini. Lumelaviinid Svaneetias hävitasid asulaid ja tõid kaasa inimohvraid. 1987. aasta suvel aga laastasid Gruusiat hiiglaslikud veeuputused.

Ookeanisetete ja liustikujää hapnikuisotoopide suhtvahekorra ja klooriooni levikukõvera jälgimine ning nende mõeldav pikendamise tulevikku annab ka eeloleva suhtes vähelohutava prognoosi. Kliima jahenemine paistab jätkuvat vähemalt käesoleva sajandi lõpuni. Edasi tuleb ligikaudu aastasada mõõdukat soojust, millele järgneb uus jahenemine, mis oma ulatuselt on võrreldav möödunud sajandite «väikese jääajaga».

Alles siis on oodata tõsisemat soojaperioodi, mille maksimum on oletatavasti aastail 2300–2400. Kuid seegi on ajutine, sest kõik teadaolevad külma- ja soojapendlid võnguvad maakera üldise jahenemise foonil ja uue jääaja ootel.

Arvutused, mis põhinevad Maale langeva päikeseenergia muutuste analüüsil, viitavad järgmise jääaja saabumisele umbes 17–18 tuhande aasta pärast.

Kuid võib-olla jätumist ei tulegi? Maa kliimat mõjustavad ju väga paljud vastastikku toimivad tegurid. Kas me suudame neid kõiki hinnata? Pealegi võivad ühel geoloogilisel ajastul mõõtuandvad olla ühed, teisel ajastul hoopis teised tegurid.

Jääaegade põhjuste analüüsimisel oli juttu süsihappegaasi kontsentratsiooni ja pinnareljeefi suurest osatähtsusest Maa kliima kujunemisel. On kindlaks tehtud, et kui CO_2 hulk atmosfääris kahekordistub, tõuseb atmosfääri alumise kihi temperatuur ligikaudu 3° võrra. See viiks kõigi praeguste liustike sulamisele ning arvatavasti kliima pöördumatule soojenemisele. Kuid CO_2 hulk on väle kasvama ja seda põhjustab mitte üksnes kütuse hulgaline põletamine (milleks kulub aastas ligikaudu 13 miljardit

tonni hapnikku), vaid ka kontinentaalse biomassi järsk vähene- mine (metsade lageraie jms.). Vaatlused ja arvutused kinnitavad, et süsihappegaasi hulk atmosfääris on möödunud saja aasta jook- sul tõusnud 0,029% -lt 0,033% -le. Tõus jätkub ja aastaks 1990 ole- tatakse CO₂ sisaldust 0,036%, aastaks 2000 0,038—0,041% ning aastaks 2025 0,052—0,064%. Osa uurijaid oletab CO₂ hulga kahe- kordistumist 19. sajandi tasemega võrreldes siiski mõnevõrra hil- jem, aastate 2030 ja 2060 vahemikus. Tuleva sajandi keskpaiku võib keskmine globaalne maapinnalähedane õhutemperatuur süsi- happegaasi muutusi arvestades olla seega 3—5°C võrra kõrgem kui praegu. Seejuures ei tõuse temperatuur kogu maakeral üht- laselt. Kui näiteks ekvaatori lähedal tõuseb keskmine õhutempe- ratuur 1,2—2°C võrra, siis 50—70° põhjalaiusel, kuhu jääb ka meie koduvabariik, võib tõus olla 4,3—6,6°C. Aurumise suurene- mise tõttu ookeanide pinnalt kasvab suuremal osal maakerast ka aasta keskmine sademete hulk, Eestis oletatavasti 8—10 cm võrra.

Seega on lähitulevikus ühe olulise kliimat kujundava teguri muutuste alusel oodata meie planeedi vee ja soojusrežiimi ulatus- likku muutumist, mille kõiki võimalikke tagajärgi me ei oska veel ette näha. Üks ebameeldivaid nähtusi on kahtlemata ookeanide veepinna märgatav tõus, mis rannikulähedastele riikidele tekitab suurt ainelist kahju. Põllumajanduse tootlikkus peaks aga kogu maakera ulatuses tõusma. Pikeneb taimede vegetatsiooniperiood ning tekivad sobivamad tingimused põllumajanduse arendamiseks kaugemates põhjarajoonides.

Süsihappegaas pole ainus atmosfääri soojusrežiimi reguleeriv tegur. Väga oluline on tehis- ja looduslike aerosoolide hulk atmo- sfääris ja stratosfääris. Ligikaudsete hinnangute järgi satub igal aastal lennunduse, kütuse põletamise jms. tõttu atmosfääri kuni 2600 miljonit tonni tahket ainet, millest tekivad aerosoolosakesed raadiusega 10⁻⁷—10⁻² cm. Praegu on tehislise aerosoolide osakaal atmosfääris 5—45%, kuid sajandi vahetuseks võib see kahekor- distuda. Aerosoolid soodustavad kondensatsioonituumadena pil- vede kujunemist. Nad hajutavad päikesekiirgust ja võivad sellest kuni 15% neelata. Tagajärg võib olla kliima üldine jahenemine. Mõningate hinnangute kohaselt on praegu süsihappegaasi hulga kasv õhus põhjustanud temperatuuri tõusu maapinnal 0,2—0,3°, inimtegevusest tulenevate aerosoolide kasv aga alandanud seda 0,5°

Kliimat kujundavad teatavasti kolm peamist protsessi: soojus- vahetus, niiskusvahetus ja atmosfääri üldine tsirkulatsioon. Need omakorda sõltuvad maapinna reljeefist, mandrite ja ookeanide jaotumusest, hoovustest, ookeanivee mehaanilisest ja keemilisest koostisest, maakera magnetväljast, Maa pöörlemis- ja tiirlemis- kiirusest, Maa kaugusest Päikesest ja Kuust, Maa orbiidi kujust

ja asendist ruumis ning pöörlemistelje kaldest ja orientatsioonist, muutustest planeetide asetuses, Päikesesüsteemi asendist galaktikalisel orbiidil, litosfääri kihtide vertikaalsest ja horisontaalsest ümberpaiknemisest, suurte meteoriidide langemisest, vulkaanipursetest, kokkupõrgetest komeetidega ja mitmesugustest muudest teguritest.

Jätkem nüüd kõrvale tehnika saavutustest tingitud kliimamuutused ja vaatleme lähemalt ainult ühte, astronoomide poolt pakutud kliimamuutuste mudelit, mis põhineb Maa orbiidi ekstsentrilisuse muutustel. See on viimase 5 miljoni a. kestel muutunud vahemikus 0,0005—0,0607. Praegu on ekstsentrilisus 0,0167, mis tähendab, et Maa kaugus Päikesest muutub aasta jooksul 147 miljonist 152 miljoni kilomeetrini. Elliptilise orbiidi tõttu kestab põhjapoolkera suvi 93 päeva ja 15 tundi, talv 89 päeva, mis põhjapoolkera kliimat oluliselt pehmendab. Maa orbiidi ekstsentrilisus muutub 95 000-aastase perioodiga, elliptiline orbiit aga pöörleb perioodiga 20 700 aastat. Maa pöörlemistelje kalde muutumise periood on 41 000 aastat. Vastavate parameetrite muutumine mõjustab kliimat üsna oluliselt ja võib soodsate tingimuste kokkulangemisel viia uue jääajani. Berger'i mudeli kohaselt tuleb uus jääaeg umbes 60 000 aasta pärast, kui üheaegselt esinevad kolm tegurit: 1) Maa asetseb oma orbiidil Päikesest kõige kaugemal ajal, kui põhjapoolkeral algab suvi; 2) Maa orbiidi ekstsentrilisus on suurim; 3) Maa pöörlemistelje kalle orbiidi tasandi suhtes on suurim.

Oeldut kokku võttes tuleb ausalt välja öelda, et me ei tea, millal uus jääaeg tuleb. Tehnika võidukäik, õigemini tema laastav mõju loodusele, võib seda protsessi nii kiirendada kui ka aeglustada. Inimene pole õnneks veel õppinud suures ulatuses ilma kujundama ja kliimat muutma, kuid mikrokliimat ta juba mõneti oskab reguleerida. Lahendatav ja majanduslikult isegi tasuv (keskmiselt 0,1—3 kop. m³) on kunstliku vihma tekitamine, edukalt aetakse laiali rahepilvi ja tulemusi on isegi orkaanide taltsutamisel.

Hullem lugu algab siis, kui inimene hakkab suurte looduspiirkondade kliimat reguleerima, sest nende eksperimentide võimalikke tagajärgi on raske ette näha. On olemas mitu projekti Põhja-Ameerika ja Lääne-Euroopa kliima parandamiseks Golfi hoovuse suuna muutmise teel. See võimas hoovus kannab edasi 22 korda rohkem vett kui Maa kõik jõed kokku. Euroopa läänerranniku rannajoone igale sentimeetrile toob ta aastas 4000 miljardit kalorit soojust. Ühe Põhja-Ameerika kliima pehmendamise projekti kohaselt nähti ette piirata Florida väin tammiga ja rajada piki Florida poolsaart kanal. See muudaks Golfi hoovuse suunda, pikendaks tema teed mööda Põhja-Ameerika rannikut ja looks

projektid autorite arvates USA kaguosas pehme subtroopilise kliima.

Teine projekt paneb ette külm Labradori hoovus Kanada rannikult eemale juhtida, ehitada tamm Newfoundlandi saart Labradori poolsaarest eraldavasse väina ja lisaks veel 14 km pikkune tamm ookeani Newfoundlandist kagusse. Tammidest suunatuna pöörduksid Labradori hoovuse külmad veed ookeani, Golfi hoovuse harud aga hakkaksid uhtuma Kanada ja USA rannikut.

Nõukogude inseneri N. Romanovi projekt soovib Kurošio hoovuse vett kasutada Sahhalini ja Kamtšatka kliima parandamiseks. Selleks tuleks Sahhalini mandrist eraldavasse kuni 27 m sügavusse väina ehitada 7 km pikkune tamm, mille värvate kaudu aasta jooksul üle tuhande kuupkilomeetri sooja vett Jaapani merest Ohhoota merre lastakse.

Teisi projekte: suurendada Atlandi vete juurdevoolu Põhja-Jäämerre Suurbritannia ja Fääri saarte vahel oleva Thomsoni «läve» süvendamise teel; juhtida Vaikse ookeani soojad veed Arktika meredeni; rajada Beringi väina tamm ja pumbata Arktika merede külm vesi Vaiksesse ookeani, et suurendada sooja Atlandi vee juurdevoolu jne. Kuid esiteks on need projektid väga kallid ja teiseks pole garantiid, et kliima paranemine ühes piirkonnas ei halvendaks olukorda mujal.

Minu isiklik arvamus jääaegade tuleku kohta lähtub mineviku uurimise alusel saadud pildist. Nagu eelmise, Mikulino jäävaheaja puhul oli jälgitav kliima järkjärguline paranemine, seepärast jäävaheaja kliimaoptimum ja lõpuks uus halvenemine, nii on see ka olnud pärastjääajal. Meie praeguse jäävaheaja kliimaoptimum on juba ammu seljataga ja kui inimene looduslikke protsesse oluliselt ei muuda, on jääaeg minu meelest paratamatu. Ennatlik on väidelda, kas see tuleb kümne, seitsmeteistkümne, kahekümne kolme või kuuekümne tuhande aasta pärast ja vaevalt see ongi meile põhimõttelise tähtsusega.

Kuidas inimesed saabuvalle jääajale reageerivad? Kahtlemata võitluslikult! Kuigi selleks ajaks on kosmoselennud teistele planeetidele ilmselt muutunud niisama igapäevasteks nagu meile bussisõit Tallinnast Tartusse, ei tähenda see sugugi, et inimesed oma koduplaneedi meeleldi maha jäta. Gröönimaalt «väikese jääaja» tõttu lahkunud viikingitel polnud jõudu külmalainele vastu hakata, kuid järgnevate aastatuhandete elanikel seda jätkub.

Võtame kasvõi inimkonna kätte koonduvad energiahulgad, mis lisaks maakera poolt neelatavale päikeseenergiale niisamuti soojuseks muutuvad. Praegu on selle lisasoojuse hulk võrdlemisi väike (umbes 0,01% päikesekiirgusest), kuid energiatoodangu

ligikaudu 6-protsendilise kasvukiiruse puhul võrdsustub inimese vallandatav energia juba umbes 200 aasta pärast Maa neelatava päikesekiirguse hulgaga. Ilmselt on energia tootmisest tingitud temperatuuri tõus järgmise sajandi esimesel poolel suurem kui looduslikest teguritest põhjustatud temperatuuritõus käesoleva sajandi esimesel poolel. Lisaks on juba praegu olemas tehniliselt lahendatavaid projekte päikeseenergia täiendavate hulkade juhtimiseks Maa pinnale. Näiteks tegi nõukogude teadlane V Tserenkov ettepaneku luua Maa ümber 1000—1500 km kaugusele väikestest läbipaistvatest osakestest koosnev Saturni rõngaga sarnane 500 km laiune rõngas. See suurendaks Maale jõudvat päikeseenergiat koguses, mille võimsus vastab poolele miljonile praegu tegutsevale kõige suuremale elektrijaamale.

Projektis osutatud võimaluse realiseerimine eeldab inimkonna jõudude ühendamist ülla eesmärgi nimel. Seevastu tuumasõja alternatiiv tooks kaasa ökosüsteemi vältimatu huku, mitte üksnes kiirguse ja maastiku radioaktiivse saastatuse, vaid ka temperatuuri kiire ja järsu languse tõttu. Grupi USA astronoomide arvutuste kohaselt, mida hiljem kontrolliti NSV Liidu Teaduste Akadeemia arvutuskeskuse kliimamudelite sektoris, on 40. päeval pärast 5000-megatonnise koguvõimsusega tuumalöövide vahetamist põhjapoolkeral senisest 12,9° külmem, Põhja-Ameerika idarannikul langeb temperatuur 40° Kesk-Euroopas 51° ja Koola poolsaarel koguni 56°. Arvutus põhineb eeldusel, et viiendik pommidest langeb tööstuspiirkondadele, sealhulgas tuhandele suurlinnale, mille põlemisel atmosfääri ülakihtidesse kandub tohutul hulgal tolmu, tahma ja muid põlemissaadusi. Järsult väheneb atmosfääri läbipaistvus ja muutub õhkkonna tsirkulatsioon. Hoolimata gigantsete tulekahjude tõttu vabanevast soojakogusest, langeb temperatuur maapinnal kiiresti, sest päikesekiirguse toimel kuumenevad ainult tahmunud atmosfääri ülakihid. Et öeldu pole ainult fantaasialend, näitavad andmed 1815. a. Sumbawa saarel (Jaava saarestikus) toimunud Tambora vulkaani purske kohta, mil paiskus õhku suures hulgas vulkaanilist tolmu. Tulemuseks oli jahenemine kogu põhjapoolkeral. Inglismaal polnud suve, lumikate püsis juunikuu keskpaigani ja augustis esines öökülmi.

Uue jääaja paratamatus ja ka välditavus on inimeste endi kätes. Kunagi varem pole teadusel olnud vastutusrikkamat ja austavamamat ülesannet kui võitlus elu säilitamise eest maakeral. Meile on meie planeet praegu veel ainus ja me peame tegema kõik, et seda muuta paremaks, veelgi elamiskõlblikumaks.

*Kokkukääritud pimedat ilmaruumi,
kordumatuse koredaid vaevatuumi
hetkede peidust hellitab alguste algus,
algusaegade valgus.*

Mats Traat

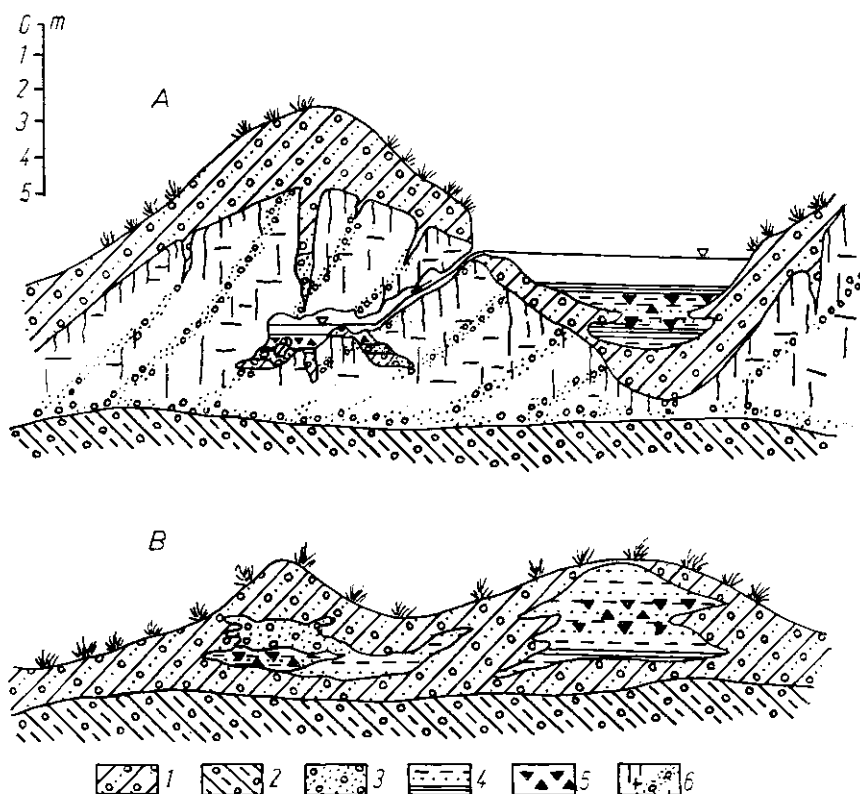
Pärast jäävangistuse lõppemist

Et saada ettekujutust, kuidas võis Eestimaa vahetult pärast liustiku taandumist välja näha, tuleks meil sõita polaaraladele, kus jää veel praegugi maismaad ahistab. Seal kohtame terava-harjalisi kivirohkeid moreenikuhjatisi, mille nõlvadest vaatavad vastu sinkjashallid mattunud jääkamakad, näeme liustikujääst purskuvaid tormitsevaid veevoole, vajume põlvini püdelasse settemassi. Ometi võib kõikjal märgata elu. Õhus tiirlevad arvukad linnuparved ja kivide vahel silmad pesapaika munadega, eemal kikitab kõrvu uudishimulik polaarrebane, otse liustikuserva ääres on kivil näha mitmevärvilisi ja erineva kirjaga samblikke. Liustikuservast kaugemal laiub samblavaip ja üha sagedamini kohtab maadligi hoiduvaid pöösaid.

Liustiku taandumisaega nimetatakse hilisjääajaks ehk hilisglatsiaaliks. Eestis hõlmab see ajavahemikku umbes 13 000 kuni 10 000 aastat tagasi. Esmalt oli kliima väga karm, arktiline, seejärel asendus lähisarktilisega. Sellegi lühikese ajavahemiku jooksul esinesid märgatavad ja küllalt kestvad soojapendlid, mis polaaraladele iseloomuliku arktilis-alpiinse igihalja roomava roosõielise drüüase (*Dryas*) järgi nime saanud karmi Dryase mitmeks osaks jaotavad. Eristatakse Dryase kolme jahedat faasi (varane, keskmine ja hiline) ning neid eraldavaid Böllingi (12 700—12 200 aastat tagasi) ja Allerödi (11 800—10 800 aastat tagasi) sooja-perioode.

Külmal ja kuival hilisjääajal esines Eestis arvatavasti igikeltsa. Igikelts ehk kirsmaa on teatavasti kestvalt külmunud maakoore osa, mis ulatub seda sügavamale, mida madalam on talve temperatuur ja õhem lumikate ning mida jämedamateralsed või lõhelisemad on kivimid. Nõukogude Liidus esineb igikeltsa praegu umbes 10 miljoni km² suurusel maa-alal, hilisjääajal oli seda aga veelgi rohkem.

Harilikult sisaldab igikelts vett, mis on kas täielikult või osaliselt külmunud. Suviti sulab mõnekümne sentimeetri paksune pealne aktiivne ehk teguskiht ja muutub veega küllastudes püdelaks massiks, mis isegi väga väikese kallakuse (2—4°) puhul



Joonis 63. Selliselt võis Reet Karukäpa arvates mattunud liustikujää sulamisel hilisjäajal (A) glatsiokarsti, maavoole ja vooluvete toimetel kujuneda nüüdispinnamood ja organogeensete setete moreeni alla mattumine (B): 1 — pinnamoreen (ablatsioonimoreen), 2 — põhimoreen, 3 — liustiku vooluvee setted, 4 — jääjärve setted, 5 — setetesse mattunud taimejäänused, 6 — moreeni sisaldiv irdjää.

hakkab allapoole libisema. Sellise maavoole ehk solifluktsiooni toimetel hävib taimkate ning nõod ja orud täituvad setetega (joon. 63).

Sageli esineb kirsmaal talvisel vee külmumisel maapinna kummumist ehk pinnase kohrutumist. Eriti suured maa-alused jääkehavad tekivad põhjaveesoonte külmumisel, moodustuvad hüdro-lakoliidid. Et jäätumisel vesi paisub, tekib veesoontes suur rõhk. Esialgu kummub maapind, hiljem murrab vesi lõhede kaudu tee maapinnale, kus külmub, moodustades suuri kattejäävälju.

Iseloomulikud on igikeltsaaladele ka pindmises osas esinevad

külmarikked ehk krüoturbatsioonid, peamiselt mitmesuguse kuju ja suurusega külmalõhed. Nende teke on seotud maapinna sesoonse külmumise ja sulamisega. Maapinna külmumisel tekivad esialgu väikesed püstlõhed, mis liigestavad pinnase iseseisvalt arenevateks, lõhedest ümbritsetud polügoonideks ehk laikudeks (sellest ka nimetus — polügonaalpinnas). Laikude läbimõõt on tavaliselt 0,2—2 m. Aastast aastasse korduv lõhede ja laigu siseosade eriaegne jääga täitumine ning kevadine sulamine tingib pinnakihtide nihkumise. Selliseid ligikaudu 0,5 m sügavuseni ulatuvaid kurdunud kihte ja peeneteralise noorema kivimmaterjaliga täitunud lõhesid oleme me kõik näinud kruusaaukude seintes. Taimedele hea kasvupinnase tõttu on neisse hiljem sageli tunginud puujuured.

Unustada ei tohi ka termokarsti, mille on põhjustanud setete alla mattunud jääpangade sulamine. Kaasneb pinnase sissevajumine ning uute lohkvormide ja nõgude tekkimine. Nii on arvata-vasti kujunenud valdav osa praeguseks soostunud nõgusid Eesti mõhnastjuse ning Haanja ja Otepää kõrgustikul.

Igikeltsa mõju hilisjääaja looduslikele protsessidele oli päratu. Suurenes vee äravool, sest polnud pinnasesse valgumise võimalust. Et ka jõgede põhjaerosioon oli raskendatud, olid intensiivse küljeerosiooni tõttu hilisjääaja jõed looklevad ja suhteliselt laiad.

Igikelts avaldas mõju ka elusloodusele: lühendas vegetatsiooniperioodi, soodustas soostumist ja takistas mulla arengut, ei võimaldanud puujuurtel sügavale pinnasesse tungida, mistõttu sai kujuneda vaid pindmine juurestik. Puud ei suutnud tugevatele tuultele vastu panna. Seepärast polnud Eesti maa-alal hilisjääajal õiget metsa. Loomadel oli raske urge rajada ja talvituda. Ei meelitanud olud siia püsivamat eluaset rajama ka inimesi. Hilisglatsiaali hõreda ja laigulise taimkatte all arenema hakanud mullad olid esialgu algelised (õhukesed), kivised ning lubjarikkamad kui tänapäeval.

Hilisjääaja esmamaastik oli küll tundrilmeline, kuid see polnud tüüpiline tundra, sest vaevakase, drüüase, selaginelli jt. tundrataimede kõrval kasvasid seal näiteks efedra, astelpaju, pujud ja maltsad, mis tänapäeval on omased peaaesjalikult steppile, poolkõrbetele ja soolakulistele rannikumuldadele. Hõre taimkatte ja igikelts soodustasid mulla erosiooni ja maavoolet.

Esimesed taanduva liustiku järel liikuvad taimed pidid olema kohastunud madala aastatemperatuuriga, tugeva tuulega ja jaheda suvega, vähese valgusega ja toitainetevaese pinnasega. Nad pidid olema krüofüüdid, s. t. suuri talvekülmasid taluvad taimed. Enamasti oli tegemist maa ligi surutud, tormi ja lume eest pisinõgudesse ja samblasse peituvate kääbusvormidega. Teine võimalus end tuulte ja tormide eest kaitsta oli padjandina kasvamine. Putu-

kate vähesuse tõttu pidid taimed olema tuul- või isetolmlejad või paljunema vegetatiivselt. Kasvada, paljuneda ja levida tuli kiiresti ning otstarbekalt, sest vegetatsiooniperiood oli lühike ja karm. Raskusi lisasid maavooled ja muutlik veerežiim.

Nagu väidab biogeograaf Jaan Eilart, ei olnud meie algne taimkate tundra, rohtla, mets ega soo, vaid mandrijääst vabane- nud alade esitaimkate, millel on küll analooge, kuid mis ometi jääb kordumatuks. Selle jääservalähedase maa-ala taimkatte liigiline koostis sõltus suuresti taimeliikide sinna levimise võimalustest (tuule, vee, lindude jt. kaudu). Nüüdistaimkatele omast suurt konkurentsi kasvukoha pärast siis veel ei olnud. Piltlikult öeldes koosnes esitaimkate liikidest, mis varem kohale jõudsid ja rasketes kliimatingimustes peaaegu mullata või vähese mullaga aladel kasvada suutsid.

Varases Dryases oli Eesti maa-ala veel jääkaane all. Vähe on meil pajatada ka Böllingi taimerigist. Õigemini, me ei oska vastavaid setteid usaldusväärselt eristada, sest jääserv oli oma- ilmeline taimestik kujunemiseks veel liiga lähedal. Sellest ajast on meil moreeni alt leitud paju oksaraod Kurenurmes, nende vanuseks on määratud 12650 aastat.

Keskmise Dryase lõpuks oli Eestis Reet Pirruse andmeil välja kujunenud jääservesise avamaastiku valguslembene taimestik, kus madala vaevakase ja kääbuspajupõõsastiku kõrval soodsamates tingimustes kasvas kiduraid sookase- ja männitukakesi. Neile lisandus rohkem pujusid ja maltsalisi, manulusliikidena kõrrelisi, tarna, nelgilisi ja korvõielisi. Selle perioodi lõpul ilmus taimekooslusse ka astelpaju.

Märksa soodsamate kasvutingimustega Allerødis hakkasid hoogsalt levima metsapuud, eelkõige kask ja mänd. Rohttaimede ja vaevakase osatähtsus taimkattes kahanes. Kuivalembeliste pujude ja maltsade esinemine rohu- ja puhmarindes kinnitab, et selleaegsed metsad olid hõredad ja valgusküllased, paiknesid tukkadena, vaheldumisi võsastike ja niidulaikudega. Allerødi soojaperioodi kliimaoptimumi ajal olid sellises park- või metsatundras esikohal hõredad männipuistud. Varjulistes kohtades kasvas kuusk, järvede üleujutusaladel ning toitainerikastel savipinnastel ka halli leppa. Soistel niitudel valitsesid pajuliigid koos tarnade, mitmesuguste kõrreliste, angervaksa, palderjani jt. rohttaimede- ga. Järvekallastel kasvasid osjad, vesikirburohi ja hundinui. Männihõrendike rohurindes esines koldasid, peamiselt vareskolda ja karukolda.

Kliima uue jahenemise ja ilmselt ka kuivenemise tõttu vähenes hilises Dryases järsult puude osatähtsus. Taas saavutasid ülekaalu avamaa taimekooslused, olles aga tunduvalt liigirikkamad ja suurema katteväertusega kui keskmises Dryases. Käsikäes Alle-

rõdi metsade taandumisega levisid üha laiemalt vaevakask ja valguslembede maltsalised, pujud, kõrrelised ning tarnad. Taimkattes valitsesid tundragrupeeriingud. Üksikutes kliima jähnenemise üleelanud puudegruppides oli ülekaalukalt esindatud kask, millele hiljem lisandus rohkesti mändi. Et taimkattes oli palju stepielemente, erines Allerõdi tundra üsnagi oluliselt nüüdistundrast ja metsatundrast.

Nagu Eestimaa esmane taimkate kujunes juhuküalistest, olid juhuküalistes ka paljud taanduva jääserva kannul ilmunud loomad, kellest kaugelgi kõik ei jäänud püsima. Lindudest asustasid Eestit kõige esmalt arktilised ja tundra rannikuliigid (polaarlõoke, rabapüü, põldrüüt, hahk jt.), märksa hiljem järgnesid neile praegu enamuses olevad boreaalsed metsalinnud.

Imetajate kõige tüüpilisem esindaja oli tundra põhjapõder, praegu esinevatest liikidest aga Allerõdi soojaperioodil arvata-vasti karu. Keegi ei oska täpselt öelda, miks me ei leia oma hilis-jääaja setetest mammutiluid. Ei oska keegi öelda sedagi, miks mammutid välja surid. Miks just siis, kui elu muutus paremaks ja seni pakase mõjul piiratud toidulaud päev-päevalt rikkalikumaks. Ka lõvil on Aafrikas ilmselt kuum, kuid ta ei kavatsegi välja surra. Pealegi pole mammut kunagi rõõmuga liustikele minna tahtnud. Liustikule ja lumele joonistavad neid meeleldi ainult kunstnikud. Mammut oli rohusööja, seetõttu liustikuesise ala asukas. Need loomad elasid üle hoopis soojemad jäävaheajad, neil oli suur kohanemisvõime, sest nad asustasid hiiglasuurt territooriumi Pürenee orgudest kuni Tšukotkani ja Ameerika mandril Kanada põhjaaladest praeguste Mehhiko troopikametsadeni. Mammut võis elada tundras, metsatundras, metsas ja stepis, võis valida laialdaste talle sobivate eluasemete vahel. Mõõdunud sajandi üks suurimaid mammutispetsialiste, Tartu Ülikoolis õppinud Eduard von Toll oletas loomade hukkumise põhjusena mingit nakkushaigust. Mammutilaipade mikrobioloogilised uurimised pole seda aga kinnitanud.

Tõenäoliselt ei surnud mammutid välja, vaid nad tapeti. Tapeti inimese poolt, kes koos mammutiga taanduva liustiku järel põhja suunas rühkis. Andis ju mammut ürgjahimehele peaaegu kõike: toitu, kehakatet ja võhkade näol isegi ehitusmaterjali. Inimesega võrreldes oli loomade evolutsioon otse tohutult aeglane. Nad ei suutnud kohaneda maailmaga, mida valitses inimene. Vastavad instinktid ei olnud lihtsalt välja kujunenud.

Kuid ega inimeselgi polnud uutes, endistest paremates oludes esialgu kerge. Kadusid põhilised jahiloomad mammutid, Lääne- ja Kesk-Euroopas elanud piisonid ja põhjapõdrad. Karjakasvatamisele ja põllundusele üleminekuks polnud jahti pidavad hõimud aga veel valmis. Seetõttu vähenes rahvastik ulatuslikel aladel.

*Sa seisad siin ja teisiti ei saa,
kuus tuhat aastat vana on su maa,
sa oled tema esielanik,
kui paesse kivinenud sisalik
või sinna kinnistunud raske ohe
või pühapilt, kus Jüri tapab lohe.*

Lilli Promet

Eestimaa esiasustus

Arheoloogide andmeil ilmus inimene meie koduvabariigi aladele umbes 9500 aastat tagasi. Arheoloogid on täpsed mehed ja toetuvad oma järeldustes kindlalt dateeritud leidudele. Geoloogide fantaasialend on alati olnud faktivabam, seetõttu ei pane ehk mu kolleegid naaberinstituudist pahaks, kui kinnitan, et meie esiasustus algas tunduvalt varem. Ma ei julge kindlalt väita, et viimasel jäävaheajal ulatunuks siia neandertallastest või kromanjoonlastest küttijate rännuteed, kuigi ka see on üsna tõenäoline. Ärgem unustagem, et nüüdisaja Arktikas oli viimasel, Mikulino jäävaheajal, 120 000—130 000 aastat tagasi, nii suvel kui ka talvel 8—12° soojem kui praegu. Volga-tagustel aladel ületas temperatuur nüüdisaegse 10° Praegusest märksa soojem oli ilm ka Lääne-meremaadel. Samal ajal oli Kasahstanis, Kesk-Aasia põhjaosas ja Venemaa Euroopa-osa stepivööndis temperatuur samasugune kui praegu, Vahemeremaade põhjaosas ja Lääne-Euroopas aga isegi üks-kaks kraadi madalam.

Soojuse ja niiskuse küllus põhjustas tundra kadumise, asemele tuli mets, mis jõudis välja koguni Põhja-Jäämere äärde. Tohututel maa-aladel kasvasid laialehised puud, puhast taigat peaaegu ei jäänudki. Eestit katsid okas- ja laialehiste puude segametsad ning laialehised metsad, soodus eluase jahiloomadele. Oleks täiesti loomuvastane, kui sellisesse paradiisiaeda poleks jõudnud selle aja ürgjahimehed. Ilmselt ei halastanud jääkeel nende harvadele eluasemetele ja peatuspaikadele, mistõttu meil ka edaspidi vaevalt õnnestub oma lähemas kodupaigas neandertallase jälgi leida.

Inimkonna sõltuvus loodusest on vaieldamatu. Erinevad on looduslikud tingimused, erinevad on ka rahvad. Tänapäeva inimene kujundab loodust agaralt ümber, kuid temagi saab toituda eeskätt sellest, mida antud piirkonna loodus võimaldab. Kliimamuutuste, maavärinate, epideemiate vms. mõjul on inimesed aegajalt olnud sunnitud elukohti muutma, kuid rännete käigus on

nad ikka otsinud tingimusi, mis oleksid maksimaalselt lähedased esiisade oludele. Seepärast on täiesti loomulik, et viimase mandri-jää taandumisel liikusid jää kannul koos põhjapõdrakarjadega järk-järgult põhja poole ka küttijate salgad. Kohati tõkestasid nende tee hiiglaslikud jääpaisjärved, kuid neist osati ümber minna. Väiksemaid veekogusid suudeti aga ületada. Allerødi soojaperioodil olid Eestis niivõrd soodsad elutingimused ja jahipidamise võimalused, et vähemalt ajutisi jahiretki korraldasid ürghõimud siia kindlasti. Et Lõuna-Norrast, Lõuna-Rootsist, ka Lätist, Karjalast ja isegi Soomest on leitud preborealse aja (10 200—9100 aastat tagasi) hõimude jälgi, siis on ilmselge, et meie senised vanimad leitud asulapaigad ei saa kõnelda inim-asustuse algusest. Selle järelduse tegemiseks piisab pilguheitmisest Ida-Euroopa lauskmade hilisjääaja metsade kaardile, mille looduslik prototüüp juhtis ju inimeste rännet. Ja looduses oskasid need varased asukad meist, vähemalt tänapäeva linnainimesest, oskuslikumalt liikuda.

Pärast jääaega kujunenud kliimatingimustes arenes Euraasia mandrit asustav inimkond kahes suunas: moodustusid suuri taimetoidulisi ulukeid küttivad jahimeeste rühmad ja korilased, kellest nooremal kiviajal kujunesid primitiivsed maaharijad. Varem, mammuti püüdmisel, oldi sunnitud jahti pidama kollektiivselt, kusjuures sellest võtsid osa arvatavasti kõik ümbruskonna suguharud. Eestimaale mammutid koos taanduva jääservaga enam ei jõudnud, juba enne seda olid nad enamikus hävitatud. Kuidas on küll leitud mammuti kihva fragment vanusega 9780 ± 260 aastat, kuid kuidas see sinna sattus ja kas saadud vanus on usaldusväärne, vajab veel selgitamist.

Põhjapõdra küttimine oli rohkem individuaalne tegevus, kuigi jahile mindi salkades. Põdrale tuli odaviske või noolelasu kauguseni lähedale hiilida. Et põhjapõder on väga liikuv loom, kes karja liitunud toitu otsides rändab sadu kilomeetreid, olid ka hilisjääaja kütid suured rändajad. Ka see kinnitab oletust, et ürginimesed jõudsid Eestimaale mitte hiljem kui Allerødi soojaperioodil. Võib-olla olid nad sunnitud hilise Dryase vältel siit taas lahkuma, kuid tõenäoliselt polnud seegi hädavajalik.

Ürginimese senine vanim tõestatud elukoht Eestis on Pulli asulapaik (joon. 39) Pärnu jõe paremal kaldal Sindi lähedal. Seal on tegemist kunagise Joldiamere osalt soostunud laguuniga, mis hilisema Antsülusjärve pealetungi ajal mattus mitmemeetrilise liivakihi alla. Turbast ja kultuurkihist leitud luu- ja söetükkide dateerimine kinnitas, et lõkke ääres istuti seal ligikaudu 9500 (9575 ± 115) aastat tagasi. Põdra, karu, metssea, kopra, metskitse ja teiste metsloomade, samuti linnu- ja kalaluude kõrval on sealt leitud ka inimkäte valmistatud esemeid, nagu naha ja puidu tööt-

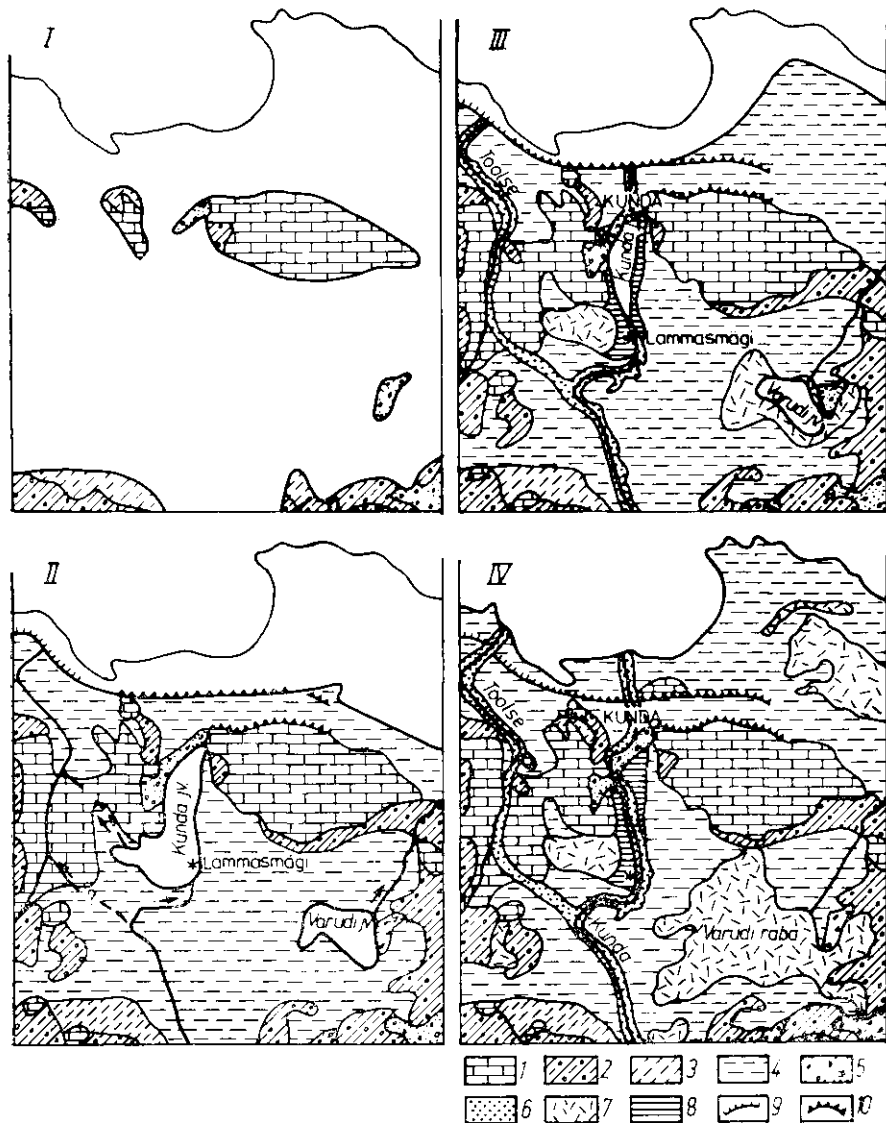
lemiseks vajalikke sarvest talbu, harpuuniotsi, amulettidena kantud loomahammastest ripatseid ja tulekivist riistu: mitmesuguseid kõõvitsaid, uuritsaid, nooleotsi, pistikteri jt. Leiud viitavad sellele, et Pulli asukad olid kalurid ning põdra- ja karukütid. Ära ei öeldud loomulikult ka muust jahisaagist ning toidusest.

Umbes 8500 aastat tagasi Kunda Lammasmäel (joon. 48) peatunud muistsete elanike põhiline tegevus oli ilmselt kalapüük. Seda tunnistavad arvukad erikujuliste ahingute leiud nii Lammasmäelt kui ka seda ümbritsenud kinnikasvanud Kunda järvest. On leitud isegi ligikaudu meetripikkuse haugi luustik, mille selgrooni oli tunginud ürginimese ahing. Peale ahinguotste on Kunda leidude hulgas tugevate kiskudega teravikke, mida kasutati harpuunidenä lähedalasunud merest suuremate veeloomade, eeskätt hüljeste püüdmiseks. Kalapüügi kõrval oli tähtsal kohal ka küttimine lähikonna metsades, peamiselt vibu ja noolte ning tulekivist teravikuga oda abil. Peamisteks kütitavateks olid põder, metssiga, metskits, kobras ja madala järve roostikes pesitsenud linnud. Lammasmäelt ja ka Pulli asulast leitud luud tõendavad, et juba sel ajal oli koer inimese truu abiline.

Lammasmäelt ja 8. aastatuhande esimesel poolel e. m. a. Joldiamerest eraldunud Kunda järvest (joon. 64) leitud arvukad luuesemed, primitiivsed kivist kirved ning kvartsist ja ränikivist valmistatud kõõvitsad, uuritsad ja muud tööriistad lubavad oletada, et tänapäevasest Ülemistest veidi suurema Kunda järve ümbrus võis sel ajal olla küllaltki tihedasti asustatud. Vaevalt mahtusid kõik elanikud tillukesele saarele, veepinnast kõrgemale ulatunud Lammasmäele. Pigem oli saar jahi- ja puhkepaik, põhiasula või asulad on aga seni veel leidmata. Pole võimatu, et Kunda ümbruses võib olla isegi vanemate hõimude elujälgi kui Pulli asulapaigas. Sellele viitavad Kunda kinnikasvanud järvest leitud mammuti kihva tükk ja põhjapõdra sarv. Mõlemad loomad elasid nn. Kunda kultuurist (tabel 5) varasemal ajal ning langesid arvata-vasti saagiks Pulli ja Kunda asukatest varasematele küttidele, kes elasid Eestis hilis- ja pärastjääaja piirimail.

Hulk keskmise kiviaja ehk mesoliitikumi (umbes 13 000—5000 aastat tagasi) leiukohti Eesti maa-alal on seotud suure veesüstemi-ga Võrtsjärv — Suur Emajõgi — Peipsi — Narva jõgi (joon. 65). Hüdrograafiline võrk oli sel ajal hoopis teistsugune kui praegu. Pihkva järv puudus hoopis, Peipsi oli aga nüüdsest palju väiksem (joon. 51, E). Võrtsjärv oli seevastu tunduvalt suurem ja väga käärulise ning sopilise rannajoonega, eriti Kolga-Jaani voorestikus, kus voored saartena üle veetaseme kõrgusid. Suur Emajõgi ei voolanud Võrtsjärvest Peipsisse, vaid vastupidi.

Kogu selle kalarikka veesüsteemi piires olid soojal ja kuival boreaalsel ajal (9300—7800 aastat tagasi) inimeste eluks väga



Joonis 64. Kunda ümbruse pinnamood Balti paisjärve ajal, umbes 10 500 aastat tagasi (I); Antsülusjärve ajal, umbes 8600 a.t. (II); Litorinamere ajal, umbes 7000 a.t. (III) ja tänapäeval (IV) (Reet Karukäpa, Karl Orviku ja Tanel Moora andmeil): 1 — alvar, 2 — moreentasadik, 3 — Balti paisjärve kuhjetasadik, 4 — Antsülusjärve ja Litorina- ning Limneamere kuhjetasadik, 5 — liustiku sulamisvee pinnavormid, 6 — jõeorg, 7 — soo, 8 — järvetasadik, 9 — astang pinnakattes, 10 — pækallas; valgega näidatud ala oli järvede ja mere all.

soodsad tingimused, eriti kuiva aluspinnaga kumeralaelistel Suur-Võrtsjärve põhjaosa saartel, kust juba möödunud sajandil on leitud mitmesuguseid kiviesemeid, sealhulgas kivist kirveid ja talbu. 1930. aastal avastati seal endise Moksi talu maadel ka esimene muistne asula, hiljem lisandus Siimusaare asulakoht.

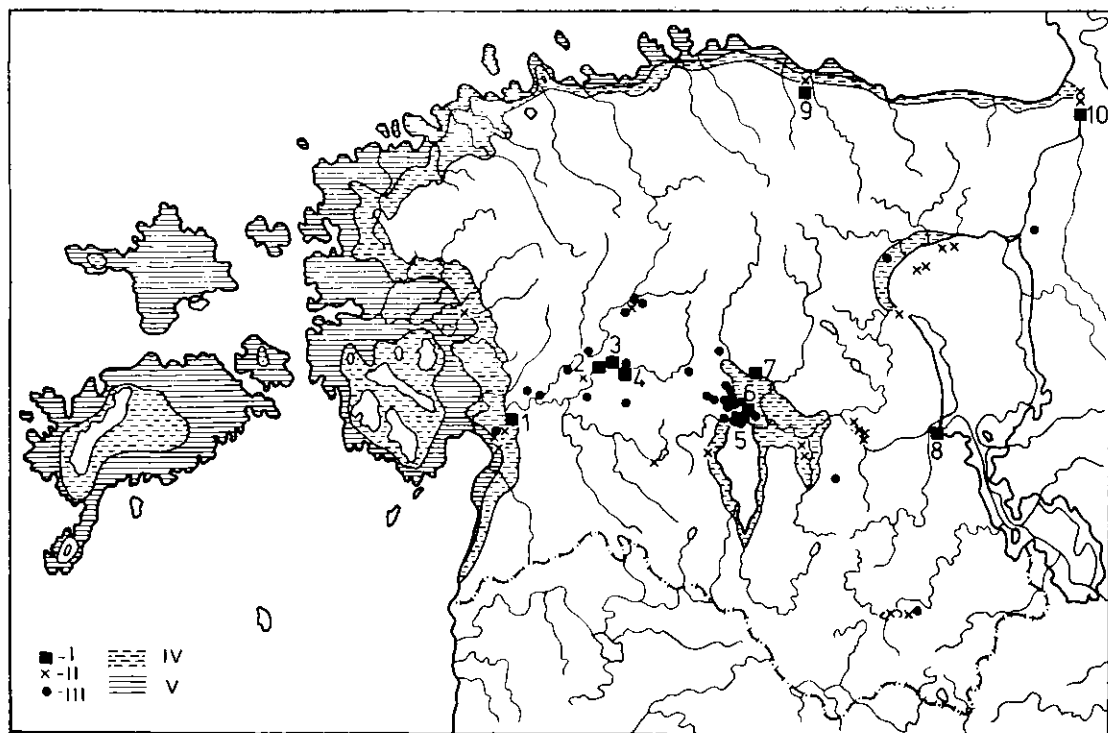
Üks muistsete kalurite ja küttide meelispaiku asetses Narva jõe kaldal, Hermannini kindlusest veidi lõuna pool. Sealt leitud kolm kultuurikihti kõnelevad sellest, et kuigi vahepeal asulapaika vahetati, pöörduti harjunud elukohta taas tagasi. Vanima kultuurikihi iga on 7640 ± 180 — 7090 ± 230 , noorimal 5820 ± 200 — 5300 ± 250 , vahepealsel 7375 ± 190 — 6740 ± 250 a. Sel ajal ulatus meri Narvani ja asulapaik, soodne madal rannäärne siselaht, oli otsekui loodud võrgupüügiks. Lähedastest Siivertsi leiukohast päevavalgele tulnud võrgukivi ja -käba on selle otsesed tunnistajad. Nii Siivertsi kui ka Narvast 4 km loodes asetseva Tõrvala (jõe paremal kaldal) asula elanikud olid arvatavasti Narva leiukoha keskmise kultuurikihi asukate kaasaegsed.

Geoloogidel on oma mõõdupuud, arheoloogidel omad. Hoolimata erinevatest nimetustest ja skaaladest on need kalendriaastates siiski rööbistatavad, kuna inimasustust ja -rännet mõjustanud looduslikud muutused avaldusid suurtes piirkondades enam-vähem üheaegselt. Vanimat ja ühtlasi kõige pikemat ajajärku inimkonna ajaloos nimetavad arheoloogid vanemaks kiviajaks ehk paleoliitikumiks. Algusaega ei suudeta täpselt määrata, kuid lõppes see umbes 13 000, võib-olla ka 14 000 aastat tagasi, mil meie koduvabariik oli veel jääkatte all. Seega jääb Eestimaa kogu vanem inimasustus keskmisse kiviaega ehk mesoliitikumi. Keskmisel kiviajal rajati Pulli, Kunda, Võrtsjärve põhjaosa ja Narva asulad. Kokku on selliseid asulaid Eestis teada kümme (joon. 65).

Hiliskiviajal ehk neoliitikumis (umbes 5000—3500 aastat tagasi) oli suur osa Eestimaast juba asustatud (joon. 65). Inimesed elasid kõikjal, kus sobis asulaid rajada, eelistatult järvede ja jõgede kallastel või mere ääres, kus kalastamine andis hõlpsa mini toitu. Veevaeste ja tiheda metsaga kaetud Pandivere alade asustamine ei olnud neoliitikumis veel jõukohane.

Hilist kiviaega tähistas savinõude ilmumine, arenes maaviljelus ja loomade kodustamine, tehti savi- ja puitehitisi. Tuntuimad neoliitikumi asulapaigad on meil Akali Suure Emajõe suudmealal, Tamula Võru lähistel, Villa Võhandu jõe paremal kaldal, Kääpa Võrust 8 km Räpina poole, Riigiküla Narva jõe vasakul kaldal, Jägala ja Kroodi Tallinnast idas ning Valma Võrtsjärve loodekaldal.

Paleoliitikumis ja mesoliitikumis suutis inimene mõnikord küll loodusega rinda pista ja seda laagripaiga ümbruses kohati isegi



Joonis 65. Eesti esiasustus (Lembit ja Kaarel Jaanitsa andmeil): 1 — mesoliitilised asulad (1 — Pulli, 2 — Lepakose, 3 — Tamme, 4 — Jälevere, 5 — Moksi, 6 — Siimusaare, 7 — Umbusi, 8 — Akali(?), 9 — Kunda, 10 — Narva); II — leitud luuesemed; III — leitud kivesemed; IV — Antsülusjärvest, Võrtsjärvest ja Peipsist üleujutatud ala (Helgi Kesseli ja Karl Orviku järgi); V — Litorinamerest üleujutatud ala (Helgi Kesseli andmetel). Neoliitikumis oli valdav osa Eestist, välja arvatud kõrgustikud ja Litorinamere vee all olnud piirkonnad, juba inimeste poolt asustatud.

oma näo järgi kujundada, kuid suhteliselt väikese rahvaarvu tõttu olid muutused esialgu siiski vähetuntavad, taimkatte looduslik seisund kergesti taastuv. Neoliitikumis alanud põllu- ja karjamajanduse areng tõi taimeriigi ja inimese suhetesse kvalitatiivse pöörde, mille üha sagedavaid hävitavaid tulemusi me eriti tänapäeval tunnetame.

Loodus on mõjustanud inimese majanduslikku tegevust, käitumist ja usundit. Küllus ja kehvus on määranud inimrühmade ja rahvaste sõjalise võimsuse, tinginud nende ümberasumise uutesse, parematesse või kehvematesse tingimustesse. Rännete tulemusena on inimrühmad ja rassid segunenud, on kujunenud uued hõimud ja rahvad.

Kuidas eestlaste esivanemad Läänemere rannikule saabusid, seda uurivad arheoloogid, antropoloogid ja keeleteadlased. Siinkohal pole põhjust sellel peatuda. Olgu vaid mainitud, et Kunda kultuuri kandjate päritolu ja etniline kuuluvus on alles lõpuni selgitamata. Tõenäoliselt saabusid nad lõunast, Doni jõgikonnast. Sellele viitavad Kunda kultuurile sarnased üksikleitud lõunapoolsetelt aladelt, tulnukate europiidsed tunnusjooned ning tulekiviesemete sarnasus Doni jõgikonnas leitud esemetega. Küllap on ka loogiline oletada rännet taanduva jääserva järel eeskätt lõunapoolsetelt aladelt.

Soomeugrilased, kellest hiljem kujunesid läänemeresoome hõimud, saabusid siia ida poolt rännates nooremal kiviajal, 3. aastatuhandel e. m. a. Arheoloogilises materjalis kajastab seda nn. kammkeraamika kultuur (tabel 5). Keeleajaloolistel andmetel olid läänemeresoomlastel juba väga kauges minevikus tihedad kokku puuted balti hõimudega — lätlaste, leedulaste ja preislastega, kes ilmusid Läänemere idarannikule arvatavasti 2. aastatuhandel e. m. a. Seda kajastab nn. venekirveste kultuur (tabel 5), mis segunes siin kammkeraamika kultuuriga. Järgnes pikaajaline vastastikune kultuuriline, keeleline ja ka antropoloogiline mõjustamine, mis lõuna pool viis läänemeresoomlaste assimileerumisele leedu ja läti hõimudega, põhja pool, ka Eesti alal, baltlaste assimileerumisele läänemeresoome hõimudega. Ligikaudu 3000 aastat tagasi on eesti hõimude arheoloogilised muistised naabrite omadest juba selgesti eristatavad.

Piki jõgesid tulid kord esiisad —
pikast teekonnast väsind, kuid julged ja visad.
Karulaantes tol korral veel puudusid teed
ja rändajat edasi juhtisid veed.
Vastu voolu nad pöördusid Koivalt Mustjõe suus,
laante põues leitigi elukoht uus.

Jaak Sõrmus

Meie ajal on kõige raskem midagi avastada. Peaaegu kõik on juba avastatud, pealegi on teinekord tarvis teada, mida me just avastada tahaksime. Hoopis lihtsam on teiste avastatud asjadele peale sattuda.

Stasys Kašauskas

Pärastjääaja metsades

Vastavalt rahvusvahelistele lepetele loetakse pärastjääajaks ehk Holotseeniks viimast kümmet aastatuhandet. Selline täpne nelja nulliga piir on kokkuleppeline, et suurt globaalse tähtsusega sündmust erinevatel maadel üheselt mõista. On iseenesestki mõistetav, et Kesk-Aafrika džunglites ja Austraalia poolkõrbetes on jääaja mõiste niisama kauge ja ebamäärane kui meile Marsi kanalite probleem. Loomulikult kulges ka pärastjääaegse taimestiku areng eri looduslikes vööndites erinevalt. Suuri erinevusi märkame isegi Lõuna-Leedu, Eesti ja Kesk-Soome vahel. Seetõttu on meilgi too 10 000 aastat pigem juhendumiseks antud korraldus kui tegelik looduslik-kliimaatiline rajajoon. Viimaseks sobib märksa enam 10 200 aastat, mis tähistab jaheda ning kuiva lähisarktilise kliima lõppemist Eestis ning mõõdukalt jaheda ja niiskema preboreaalse kliimaperioodi algust (tabel 5). Ühtlasi algas meil umbes 10 200 aastat tagasi kliima lõplik ja tunduv paranemine, soode ja tõeliste metsade areng ning orgaaniliste setete kuhjumine järvedes.

Suur osa Eestist oli Holotseeni alguseks Läänemere vee all (vt. joon. 69), mistõttu siin etendasid pinnakatte kujunemisel veel pikka aega määravat osa merelained. Hiljem lisandusid teised geoloogilised protsessid, eeskätt tuulekanne ja jõgede uuristus, mis merest ja suurjärvedest puutumata Kõrg-Eesti alal avaldusid kohe pärast jää sulamist. Holotseeni setted kujunesid Pleistotseeni setete, vähemal määral aluspõhjakevime kulutuse ja ümbersettimise arvel, mistõttu nende ainealine koostis on Pleistotseeni setetele üsna lähedane. Tuleb siiski lisada, et iga ümbersetamine tõi kaasa mõningase kergemini kulutatavate ja murenevate kivimite ning mineraalide vähenemise, mistõttu nooremad setted on homogeensemad ja muldade lähtekivimina vähemviljakad. Toome näiteks moreeni kujunemise tuuletekkeliseks setteks. Esmalt võivad moreenist kujuneda liustiku sulamisvee setted, seejärel mereset-

ted ja korduvate ümberkuhjumiste järel luiteliivad. Kui moreenis leidub mitmesuguse terasuurusega koostisosi ja isegi kõige kergemini porsuvaid mineraale (oliviini, pürokseene, kipsi jt.), siis luiteliivad on valdavalt kvartsirikkad peenliivad, kergesti lagunevad mineraalid neis puuduvad. Holotseeni setted on kaardipildis väga mosaiiksed ja harilikult õhukesed, harva üle 10 m.

Eesti jääajajärgsete metsade arengulugu on geoloogid, bioloogid ja geograafid juba aastakümneid uurinud, kuid piisavalt tõepäraselt pilti veel pole. Uurimiseks kasutatakse peamiselt palünooloogilist meetodit: setetes sisalduva puude ja rohttaimede õietolmu ning eoste põhjal määratakse setete vanus ja luuakse vastava aja kohta paleogeograafiline pilt. Soo- ja järvesetete puhul täiendatakse seda taimejäänuste uurimisel põhineva paleokarpooloogilise meetodiga. Ajalisi piire aitab täpsustada radiosüsiniku meetod.

Palünoлогия senisel tasemel on saadud andmeid eeskätt puude leviku kohta. Metsa alustaimestik, roht- ning puhmastaimed on jäänud peaaegu uurimata. Paljusid eoseid ning õietolmuteri ei oska meie spetsialistid veel määratagi. Ka erinevate puuliikide õietolmu hulk, edasikande ja laotumuse eripärasused ning õietolmu erinev säilimisaste loovad lisaraskusi. Liikide tõepärasema suhte saamiseks tuleks metsa õietolmudiagrammis kuuse tolmu hulga näitajaid keskmiselt kaks korda suurendada, männi omi aga ligikaudu neli korda vähendada. Kuid kohe kerkib küsimus, kus muutub sel juhul fantaasia tegelikkuseks ja range analüüs luuluks.

Eesti metsade arengust esitame vaid kõige üldisema pildi (joon. 66), sest erinevates looduspiirkondades (näit. tasandikud ja kõrgustikud), erinevatel pinnastel (näit. liiv ja savi), erineva hüdroloogiaga aladel (näit. karstiala ja jõeorud) ning erineval kaugusel merest toimus metsade areng erinevalt. Seda mõjustas olulisel määral ka puude erinevast suunast migratsioon ja selle kiirus.

Preboreaalsest kliimastaadiumist (10 200—9300 aastat tagasi) alates (metsade arenemise PB faas) hakkasid Eestis hoogsalt levima kase- ja männimetsad, eriti kasemetsad (vt. tabel 5). Kuusk meie metsades sel perioodil praktiliselt puudus (joon. 66). Kuna preboreaalne aeg oli veel jahe (juuli keskmine temperatuur ainult 10—12°C), oli ka taimestiku üldpilt üsna armetu. Kidurate kaskede ja mändidega koos kasvas vähesel määral haaba, sara-puud ja jalakat.

Järgnenud sooja ja kuiva boreaalse kliimastaadiumi (9300—7800 aastat tagasi) esimesel poolel (metsade arengu BO1 faas) saavutasid männimetsad levikumaksimumi, kasemetsade hulk vähenes. Viimaste levik oli seotud peamiselt madalamate ja niiskemate alade ja viljakamate muldadega. Kuusk puudus meie met-

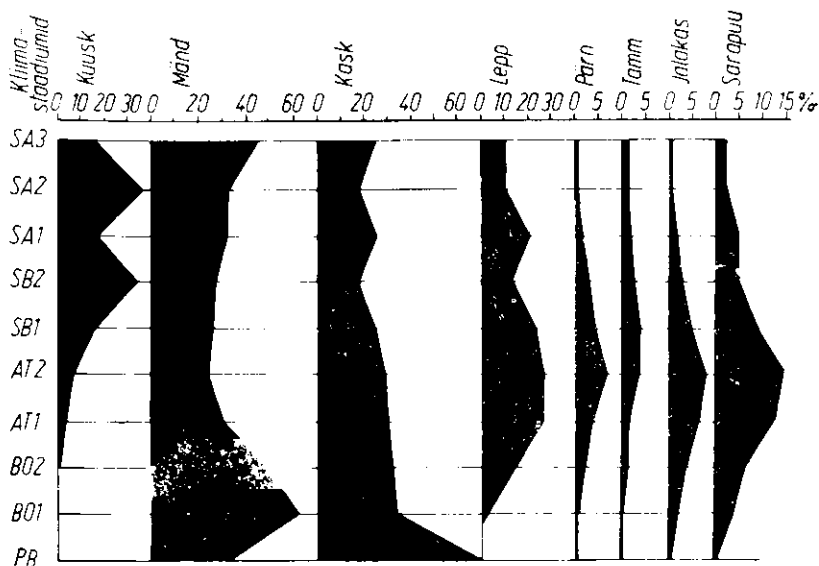
Tabel 5

Eesti maa-ala areng jääajajärgsel ajal

Aeg (aastat tagasi)	Strati- graafiline jaotus	Läänemere arengustaa- diumid	Kliima- staadiumid	Öietolmuvoöd	Metsade arengufaasid	Soode arengu- faasid	Jahiloomade dünaamika	Kodu- loomade ilmumine	Esiajaloo perioodid
1 000	Ülem- holotseen Qiv ³	Limnea- meri	subatlanti- line (SA), jahe-niiske	ülemine männifaas (SA3, I a) 1100	männi ja kase segametsad, laialehiste puude salad	noorem sfag- numi- turvas	kobras kaob piison kaob	kodu- kass	ajalooline aeg tarand- kalmed
				ülemine kuusefaas (SA2, I b) 1700	teist korda kuusemetsad, valgepöök				
2 000				ülemine lepafaas (SA1, II) 2800	kase- ja lepametsad				
3 000	— 2800 —		— 2800 —			piirhori- sont	tarvas kaob	hobu- ne	kivikirst- kalmed
4 000	Kesk- holotseen Qiv ²		subboreaal- ne (SB), soe-kuiv	alumine kuusefaas (SB2, III) 3700	esimest korda kuusemetsad				
				tammefaas (SB1, IV) 4800	männi ja kase segametsad ning tammikud	vanem sfag- numi- turvas	euroopa piison	kodu- siga, kits, lam- mas, veis	pronksiaeg kindlus- tatud asulad
5 000		— 4200 — Litoriina- meri				soode üle- minek raba- faasi	lehtmetsa- liikide (metssiga, tarvas, hivv)	neoliitikum	vene- kirveste kultuur
6 000			atlantiline (AT), soe-niiske, jääajajärg- ne kliima- optimum	pärnafaas (AT2, V)	salu-lehtmetsad pärnaga, sanglepikud ja sarapikud				

Tabel 5 järg

Aeg (aastat tagasi)	Strati- graafiline jaotus	Läänemere arengustaa- diumid	Kliima- staadiumid	Õietolmu vööd	Metsade arengufaasid	Soode arengu- faasid	Jahiloomade dünaamika	Kodu- loomade ilutamine	Esiajaloo perioodid		
7 000	Alam- holotseen Q _{IV} ¹	7600 Antsü- lusjärv	7800	6600 jalakafaas (AT1, VI)	salu-lehtmetsad künnapuu ja jalakaga, sanglepikud	soode tekke algus Madal- Eestis	metskass	koer	mesoliitikum Kunda kultuur		
8 000				boreaalne (BO) soe-kuiv	7800					sarapuufaas (BO2, VII)	männi-kase- metsad, sara- pikud
9 000					8100 alumine männifaas (BO1, VIII)					kase-männi- metsad	
10 000		9300	9100	kasemetsad	soode tekke algus Kõrg- Eestis (leht- sambla- sood)	tarvas, ulukhobune põhjapõder kaob					
10 000		10 000	9300				preboreaal- ne (PB), jahe-niiske			kasefaas (PB, IX)	
11 000		Ülem- pleisto- tseen Q _{III}	10 200	10 200	10 200	subarktiline	ülemine Dryase faas (DR3, X)			tundra (kase- ja männi- hõrendikud)	kobras, karu
12 000	Balti paisjärv					10 800	Allerödi faas (AL, XI)			metsatundra (määnd, kask)	
				11 800	keskmise Dryase faas (DR2, XI)	tundra (põõsa- ja puhma- kooslused)	põhjapõder				



Joonis 66. Eesti metsade areng pärast jääaega keskmise õietolmudiagrammi alusel (Leonidia Orviku järgi).

sades endiselt. Borealse kliimastaadiumi teisel poolel (metsade arengu BO2 faas) muutus kliima mõnevõrra soojemaks ja niiskemaks, mistõttu pidevalt suurenes lepa, sarapuu ja jalaka levik. Ilmus kuusk, algas metsade diferentseerumine. Kuna boreaalsel kliimastaadiumil algas ka ulatuslik madalamate siseveekogude soostumine, pidid laialdaselt levima madalsoo taimekooslused. Sagedased olid pruunsamblad, lubjalembesed tarnad ja teised lõikheinalised. Eriti rohkesti kasvas mõõkheina ja kraavtarna. Sood olid kaetud hõreda ja madala sookasevõsaga.

Borealsele kliimastaadiumile järgnenud atlantilisel kliimastaadiumil (7800—4800 aastat tagasi) saavutas kliima pärastjääaegse kliimaoptimumi, olles tunduvalt niiskem ja soojem kui praegu. Kliimastaadiumi esimest poolt (metsade arengu AT1 faas) iseloomustab kogu Eesti territooriumil vanemate soode areng rabadeks (tabel 5) ja lepa (eriti sanglepa), jalaka ning sarapuu laialdane levik metsakooslustes. Vähenesid männimetsad, pidevalt suurenes kuuse hulk. Kõrgema reljeefiga aladel algas väärislehtpuude ülekaaluga metsade võidukäik, mis jõudis maksimumini atlantilise kliimastaadiumi teisel poolel (metsade arengu AT2 faas). Meie territooriumi viljakamad kõrgemad alad vallutanud

lopsakates laialehelistes metsades kasvas peale jalaka, pärna, tamme, saare, vahtra, raagremmelga jt. ka kuuske. Jõeorgudes, järvekallastel ja mujal madalamates kohtades levisid tihedad uhtlamnimetsad, kus peale künnapuud, jalaka, tamme ja pärna kohtas rikkalikult veel leppa ja sangleppa, vähem saart, kaske, vahtrat jt. Liigniisketel aladel kasvasid lodumetsad sanglepa ja kasega, liivaaladel männimetsad.

Atlantilise kliimastaadiumi lõpus muutus kliima kuivemaks ning asendus peagi sooja ja suhteliselt kuiva lähisboreaalse (sub-boreaalse) kliimastaadiumiga (4800—2800 aastat tagasi), mille esimest poolt (metsade arengu SB1 faas) iseloomustab kuuse intensiivne sissetungimine kagust ning ulatuslik kuusest ja laialehelistest puudest (eriti tammest) segametsade esinemine, teist poolt (metsade arengu SB2 faas) kuusemetsade osakaalu suur kasv. Tugevasti varju andva puuna surus kuusk valguslembesed tammed tagaplaanile. Ta tungis sisse ka sanglepa-lodumetsadesse ning vallutas kohati isegi kuivemad ning liivasemad pinnased, kus hakkasid levima liigivaesed taigametsade taolised jänesekapsa- ja samblakuusiku tüübid. Kuiva kliima tõttu esines rohkesti rabamännikuid, sisse rändasid paljud stepitaimed, mis asustasid liivaluuteid ja loometsi.

Meie tänapäevale omane niiske ja jahe lähisatlantiline (subatlantiline) kliimastaadium hõlmab viimased 2800 aastat. Kliima niiskemaks muutumisest tingituna oli algul märgata kuusemetsade mõningast vähenemist ja lepa osatähtsuse suurenemist (metsade arengu SA1 faas). Peagi aga taastas kuusk oma valdused ja saavutas teise levikumaksimumi (metsade arengu SA2 faas), mis ulatuselt Kesk- ja Ida-Eestis esimese kaugelt ületas. Kuusemetsade kõrval olid tähtsal kohal männimetsad, arvatavasti samadel kohtadel, kus praegugi, nimelt Kagu-Eesti liivaaladel ning Põhja-Eesti ja Lääne-Eesti kehvematel pinnastel ning ranniku-lähedastes piirkondades.

Nagu eespool tähelepanu juhitud, on metsade areng sõltuvalt mullastikust, reljeefist, veerežiimist ja reast muudest teguritest olnud küllaltki eriilmeline. Selged on erinevused Kõrg-Eesti ja hiljem maismaastunud Madal-Eesti vahel. Näiteks on männi osatähtsus Lääne- ja Loode-Eesti mere pealetungialadel alati olnud suurem kui Ida- või Kagu-Eestis. Isegi atlantilisel kliimastaadiumil, kus männi osakaal oli väike, esines seal männimetsi võrdlemisi rohkesti. Lähisboreaalse kuuse maksimum oli Madal-Eestis teravam, lähisatlantilise kuuse maksimum aga väiksem kui Kõrg-Eestis. Saaremaale, mis vee alt vabanes võrdlemisi hiljuti (Antsülusjärve staadiumi alguses oli vee alt vaba ainult $\frac{1}{15}$ nüüdisaegsest saarest), tuli kuusk alles lähisboreaalse kliimastaadiumi

algul (Vilsandil pole veel praegugi) ning kuuse kahekordne maksimum seal puudub. Selliseid erinevusi on rohkemgi.

Käesoleval aastatuhandel on inimene metsade ilmet oluliselt mõjustanud. Eriti laastav on tema mõju olnud viimastel aastasadadel, ja eeskätt väärispuudele. Uksnes tammede hulk on Eestis viimase 70 aasta jooksul vähenenud rohkem kui kolmveerandi võrra.

Käsikäes metsade arenguga toimus metsloomade sisseränne, õitseng ja häving. Preboreaalne soojalaine sundis tundra ja metsatundra taanduma ning vastavalt sellele kadusid ka loomastikust tundraliigid (põhjapõder, lemming jt.). Juba Varaholotseenis ilmusid Eestisse siin praegugi valdavalt esinevad metsalinnud ja seni lõunapoolse levikuga sõralised ning kabjalised (mets siga, hirm. metskits, tarvas, metshobune), kes oma levikumaksimumi saavutasid Keskholotseenis, eeskätt atlantilisel kliimaperioodil. Arvukalt oli ka metskassi ja kobrast.

Hilisholotseeni kliima jähnenemine ja laialehiste metsade vähenemine ei toonud kaasa uute oluliste imetajaliikide sissetungi, kuid koos eespool nimetatud lehtpuuliikidega taandusid mitmed loomaliigidki uuesti lõuna poole (hirm. metskass, tarvas) või nende hulk vähenes (metssiga, metskits). Tarvase taandudes ilmus asemele euroopa piison, meie ajaarvamise 1. aastatuhandel ja 2. aastatuhande esimesel poolel Lätis laialt levinud jahiloom. Et alates 2. aastatuhandest e. m. a. tungisid lõunast seni kaluritest ja küttidest hõredalt asustatud Eesti maa-alale karjakasvatajad ja põlluharijad hõimud, siis muutus inimene sellest ajast oluliseks loomastiku koosseisu reguleerivaks teguriks. Ühtlasi täiendasid meie faunat arvukad koduloomad (tabel 5).

*Meri tuleb sinna, kus varem oli
maismaa; maismaa pöördub tagasi
sinna, kus praegu näeme merd.*

Aristoteles

Läänemere eelkäijad

Ju lapsena igatsesin merd ääretut mina.
Ma tahtsin näha ta lainete valgeid harju
ja lainetel liuglevat viirese varju
ja vahu sees õõtsuvaid kajakakarju
ning kaugel kõikuvat üksikut purje.

Nii kirjutas oma noorpõlves Friedebert Tuglas. Merest on kirjutanud paljud, sest eestlane ja meri on lahutamatud. Iidsest aegadest peale on meie esivanemate laevad kündnud Läänemere voogusid, aastasade jooksul on meri andnud leivakõrvast saarlase ja läänlase kasinale toidulauale. Läänemerega on seotud ka palju Eesti looduse omapärast ja ilust. Niipalju kui mäletame meie või on jutustanud meile isad ja vanaisad, on Läänemeri ikka uhtunud Eesti randu. Kas see on alati nii olnud? Ei! Geoloogide arveraamatus on Läänemeri üpris noor moodustis. Nihutame mõttes geoloogilist ajanäitajat taas paari miljoni aasta võrra tagasi. Sel ajal, millest oli juttu raamatu esimeses peatükis, ei olnud Põhja- ega Läänemerd ning kogu Põhja-Euroopa oli nüüdisaegsest märksa kõrgem ja mägisem (joon. 1). Prantsusmaalt oleks siis võinud jalgsi minna Inglismaale ning neid maid ühendavate sildade või tunnelite ehitamise probleem, mille üle teadlased ja insenerid tänapäeval väsimatult pead murravad, poleks päevakorrale kerkinudki. Pole juhuslik mu taaspeatumine selle inimajalooga võrreldes kaugel ajalõigul, mille geoloogid, nagu mäletate, on nimetanud neogeeni ajastuks. Kuigi Läänemerd veel ei olnud, tekkisid just siis eeldused tema kujunemiseks. Teatavasti maakoos kohati tõuseb, kohati vajub, teisel rebestavad selle pinda sügavad murrangulõhed. Suhteliselt vajuv piirkond oli neogeeni ajastul ka nüüdne Läänemere nõgu. Kujunenud nõgu mööda voolasid Taani väinade suunas hiigla jõed, mis kõrgusvahesid veelgi reljeefsemaks muutsid.

Alanud jääajal voolas liustikujää just neidsamu mägedest alanud orgusid pidi lausksuunas, hiljem aga võttis Läänemere jäävool enda valdusse kogu nõo. Liustikud ihusid nõgu oma sadakond meetrit sügavamaks, naabruses olnud jäälahkmealasid

seevastu kulutasid vähe. Merenõgu oli valmis, kuid paraku veel ilma veeta. Veega täitus ta esimesel jäävaheajal, kuid millal see jäävaheaeg oli, jääbki meil arvatavasti täpselt teada saamata. Esimesed kindlad märgid möödaniku Läänemerest pärinevad umbes 380 000—240 000 a. tagasi Mindel-Rissi ehk Lihvini jäävaheajast (vt. tabel 2) Holsteini mere näol, mis on oma nime saanud praeguse Saksamaa Liitvabariigi põhjapoolseima liidumaa Schleswig-Holsteini järgi, kust selle mere setteid on ulatuslikult leitud. Lihvini jäävaheaeg oli küll pikk, kuid suhteliselt jahe. Seetõttu ei sulanud oluliselt polaarmütside jääkate ja Holsteini meri ei ulatunud arvatavasti Põhja-Euroopas nüüdisaegsest merest kaugemale. Eestis igatahes Holsteini meresetteid seni leitud ei ole, küll on neid ulatuslikult kindlaks tehtud Leedu ja Kalinin-gradi oblasti rannavöötmes, tõsi, sealgi nüüdismerepinnast madalamal.

Viimasel, Riss-Vürmi ehk Mikulino jäävaheajal Läänemere nõos laiunud Eemi meri (sanimelise väikejõe järgi Madalmaadel) oli seevastu nüüdismerest märksa suurem ja soolasemaveelisem. Ookeaniga oli ta arvatavasti ühenduses nii läänest kui ka kirdest, ookean ise aga oli 15—20 m nüüdisookeani tasemest kõrgemal (joon. 23).

Eemi mere setteid on Eestis teada Suur-Prangli saarelt 66—78,2 m sügavuses allpool praegust merepinda. Puurimistega on seal kindlaks tehtud hallivärvuselised 10—12 m paksused merelised liivsavid umbes $1 \times 2,5$ -km maa-alal, savi katavad viis viimasel jääajal kuhjunud halli moreenikihti. Meresetete all lasub omakorda Moskva jäätumise pruun moreen ning sellel on arktiliste ja lähisarktiliste taimede õietolmu ja külmalembeste diatomeede kodusid sisaldavad viirsavid. Nagu hilisjääajal ikka, oli kliima sel ajal jahe ning kuiv ja mullad maismaal alles kujunemisjärgus. Jääpaisjärve ääristavatel primitiivsetel muldadel kujunes madalate ja kidurate vaevakaskede all pujudest ning maltsadest rohurinne.

Viirsavidel lasuvad külmalembest, magestunud madalaveelistele basseinidele iseloomulikku diatomeefloorat sisaldavad aleuriidid (liivsavid), mille õietolmuspektris on esikohal kask ja mänd. Mererannal ja selle lähedasel sisemaal hakkasid metsi peagi rikastama tamm ja jalakas, põõsarindes oli rohkesti sara-puud. Nendegi tolmuterad kandusid merre. Kõrgemates kohtades leidub setetes männi, kase ja laialeheliste puude õietolmu peaaegu võrdselt. Veepind meres tõusis ja soolsus suurenes. Mere pealetungi jätkumisele viitab normaalsoolsusega mereliste diatomeede (*Melosira sulcata*, *Grammatophora* sp., *Actinocyclus ehrenbergi* jt.) ilmumine ja diatomeekoosluses valitsevale kohale asumine. Laialehelistest puudest oli maismaal esialgu kõige rohkem

tamme ja jalakat, seejärel suurenes kiiresti pärna osatähtsus ja lõpuks valitses valgepöök, endiselt kasvas rohkesti sarapuud ja leppa. Jäävaheaja kliimaoptimumi tähistava valgepöögi leviku tippajaks jõudis ka mere pealetung haripunkti, settisid suhteliselt sügavaveelised savid ja liivsavid. Diatomeeetikatest esinesid soojaveelised merevormid nagu *Coscinodiscus antiquus*, *Navicula abrypta* jt. Seejärel algas mere taandumine, millega kaasnes kliima jahenemine. Laialeheliste puude hulk vähenes järsult, maismaal tekkisid ulatuslikud kuuse-, siis männi- ja kasemetsad. Suurenes rohttaimede õietolmu hulk. Loetletud tunnused osutavad uue jääaja peatsele saabumisele.

Valdai jäätumise algus kajastub Suur-Prangli saare flooras puude vähenemises ja rohttaimede ning vaevakase osatähtsuse suurenemises. Kuid erinevalt jäävaheaja algusest, kus kliima oli külm ja kuiv (krüokserootiline aeg), oli algava varaglatsiaali kliima külm ja niiske (krüohügrootiline aeg), mistõttu rohurindes valitsesid kõrrelised ja lõikheinälised, eostaimedest aga metsa- ja turbasamblad. Meri asendus selleks ajaks taas jääpaisjärvega, mis pealetungiva jääserva ees üha laienes, kuni lõpuks põhjani kinni külmus, jäämägedeks kuhjus ja jääkeelde neeldus.

Nüüdse Läänemere elustiku üks suuremaid mõistatusi on rohket arktilistest meredest pärinevate reliktide esinemine. Pikka aega oletati, et pärast viimase jääaja lõppu oli Läänemerel üle Karjala ajutine ühendus Valge mere ja ühtlasi Põhja-Jäämerega, kust umbes 1000 aasta jooksul soolaselembesed põhjamaised asukad Läänemere hilisjääaegsesse eelkäijasse, Gotiglatsiaalsesse Joldiamerre ehk Karjala merre rändasid. Hilisemad uurimused on veenvalt kinnitanud, et Läänemerel ei olnud hilisjääajal soolaseveelisi eelkäijaid. Võib-olla säilis liustikuserva ees jäanukveekogu Eemi merest, kus need olendid jääaja rasked katsumused üle elasid? Sellele annavad vastuse edaspidised uuringud.

*Üks maa on sündinud merest
silmapiiride vahele saar
see liiv on kivist ja murest
aga rõõmus on vikerkaar*

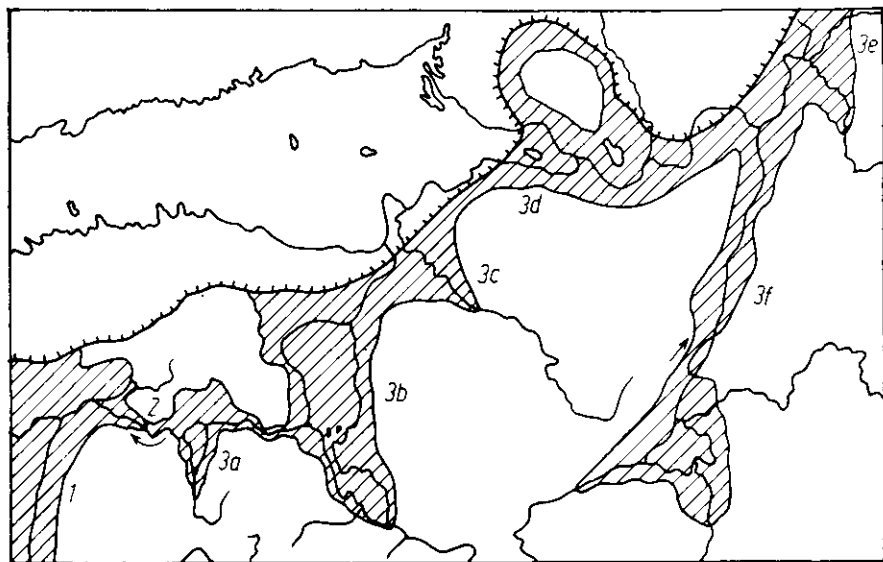
Jaak Kaplinski

Merest sündinud

Suurt osa Eestimaast võib lugeda mere lapseks. Meie territooriumi kasv jätkub ka edaspidi. Veest tõuseb üha uusi ja uusi maalapikesi, osa neist liitub omavahel, teised kasvavad mandriga kokku. Algul on laiukesed paljad ja arglikud ning kui meri tormiga oma piire laiendab, saavad end lausa veepiirile elama seadnud taimed hukka. Need saarekesed on lainte pillutada ja tuultele räsida, kuid aja möödudes võivad nad merele juba ülalt alla vaadata. Neid asuvad muutma tuul ja vooluveed, algab muldade ja püsiva taimkatte kujunemine, maasäärtega eraldatud rannajärved hakkavad kinni kasvama ja soostuma. Nii on see toimunud nüüdisrannajoonest kümneid kilomeetreid eemal asuvates paikkondades, nii jätkub edaspidi praegustel merepõhjaaladel.

Eelmisest peatükist selgus, et Läänemeri on väga noor. Vahe-meri on sadu miljoneid aastaid olemas olnud, kuid Läänemerele ei taheta vanuseks anda poolt miljonitki. Mõni ammu asutatud kuulsusrikas ülikool on olnud oma ajaloo jooksul rohkem suletud kui avatud, kuid see ei sega juubelite pidamist. Kui aga Läänemeri on mõneks korra liustike alla jäänud, on see aeg tema eluloost halastamatult maha tõmmatud. Seetõttu peame Läänemere sündi seostama viimase jääaja liustike taandumisega. Kuid ikkagi on sünnidaatumis suuri lahkavusi. Pole ju kerge otsustada, missugusest ajahetkest alates taanduva liustikuserva ees üha laienevat jääpaisjärve mereks lugeda.

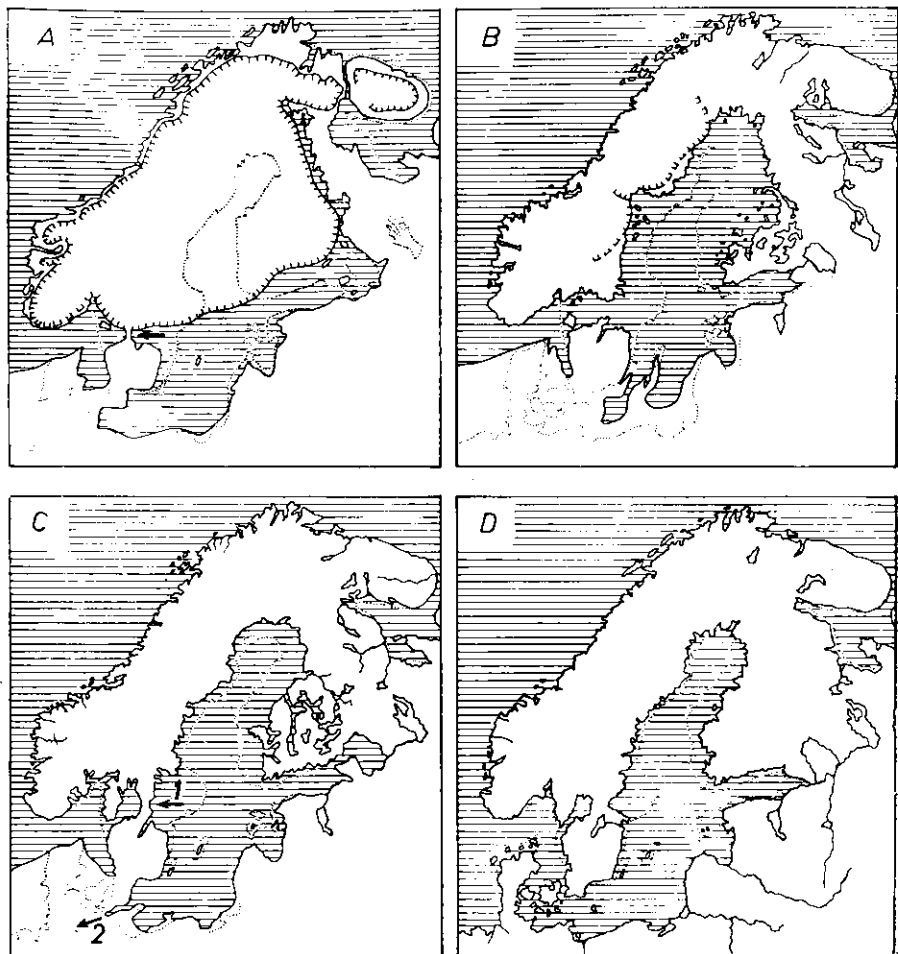
Böllingi soojaperioodil ühinesid Gdanski ja Bornholmi nõos olnud kohalikud jääpaisjärved ühtseks järveliseks veekoguks, mis mõnede autorite järgi kannab mere nime, Böllingi Lõuna-Balti meri. Mõnede uurijate arvates aga eksisteeris juba enne seda, umbes 13 000—12 550 aastat tagasi Arktiline Lommi meri Lõuna-Skandinaavias. Tolle, nagu järgneva Karjala meregi olemasolu on põhjust tugevasti kahelda. Liustike sulamine oli gotiglatsiaalis sedavõrd intensiivne ja kiire, et vaevalt said soolased ookeanivood endale vastu voolu teed rajada. Kui piiratud ühendus ookeaniga oligi, rändas liustiku sulamisvesi kujunenud kanalid pidi Läänemere nõost ookeani suunas, aga mitte vastupidi.



Joonis 67. Geograafiadoktor Dmitri Kvassovi arvates oli kogu hilisjääajal Ida-Euroopa lauskmaal keerukas jääpaisjärvede süsteem. Neeva (Pandivere) staadiumi ajal oli Läänemere nõos Lõunabalti jääpaisjärv (1), Eesti alal ja selle naaberpiirkondades aga tuntud Soome geoloogi W. Ramsay (1865—1928) auks nimetatud Ramsay järv, mille iseseisvad osad omakorda Võrtsjärve (3a), Peipsi (3b), Luuga (3c), Neeva (3d), Laadoga (3e) ja Kesk-Volhovi (3f) jääpaisjärved. Number 2 tähistab kahe suurjärve vahelist vooluteed praeguse Viljandi lähedal.

Oma 1896. aastal ilmunud monograafias luges G. De Geer kogu Antsülusjärvest varasema veekogu Läänemere nõos Jäämereks, kuigi ta teadis, et vesi selles oli mäge. Riimveeline mollusk *Yoldia* (*Portlandia*) *arctica* elutses G. De Geeri andmetel selles veekogus lühiajaliselt vaid Stockholmi lähistel. Hiljem on avaldatud arvamust, et sealgi on riimveeline fauna ümber settinud jäävahe-aegse Eemi mere setetest.

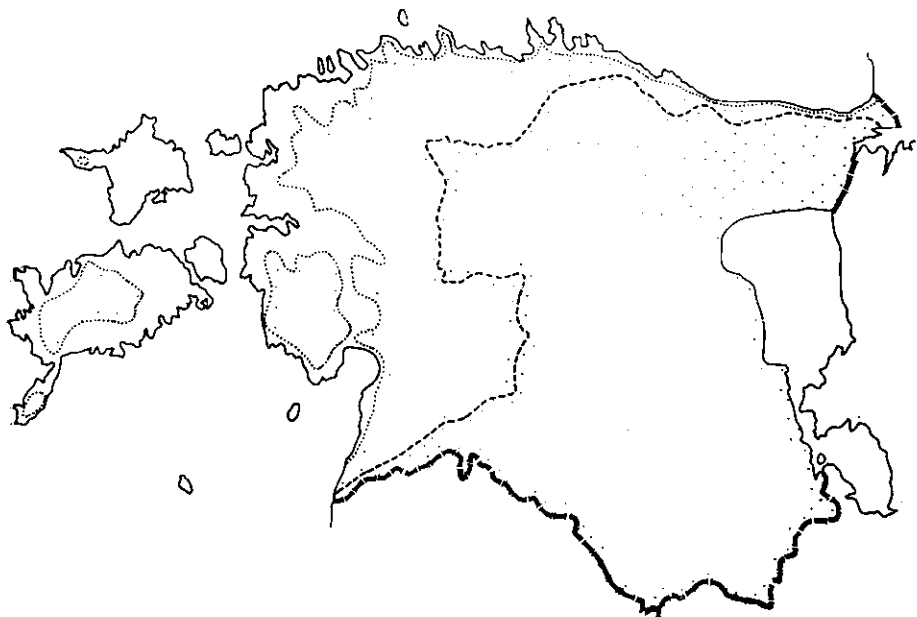
Geograafiadoktor Dmitri Kvassovi arvates on Ida-Euroopa lauskmaal ja Läänemere nõos kogu hilisjääajal olnud tegemist keeruka jääpaisjärvede süsteemiga. Liustiku maksimaalseisu ajal voolas neist vesi eeskätt Kaspia ja Musta merre. Luuga (Haanja) staadiumil kujunes jääpaisjärvede Läänemere süsteem, kust vesi voolas läbi Läänemere lõunaosa Põhjamerre. Neeva (Pandivere) staadiumi ajal oli Läänemere nõos Lõunabalti jääpaisjärv, Eesti alal ning selle naaberpiirkondades aga tuntud Soome geoloogi W. Ramsay auks nimetatud Ramsay järv (joon. 67), mille ise-



Joonis 68. Läänemere olulisemaid arenguetappe (M. Sauramo, H. Kesseli jt. järgi): A — Balti paisjärv, B — Joldiameri, C — Antsülusjärv, D — Litoriinameri. Nool 1 tähistab vee läbimurret Vänerni basseini, nool 2 näitab kohta, kus järve veed tungisid ookeani. Hambulise kontuuriga on märgitud liustikud, katkendjoonega mere nüüdiskontuurid.

seisvad osad olid Võrtsjärve, Peipsi, Luuga, Narva, Laadoga ja Kesk-Volhovi jääpaisjärved.

Ühendus nende järvede vahel oli jõeline, mistõttu ei saa veel kõnelda ühtsest Balti paisjärvest, mida enamik uurijaid loeb nüüdisaegse Läänemere alguseks. Autori ja D. Kvassovi arvates algas Balti paisjärve areng momendist, kui liustikuserv taandus Põhja-



Joonis 69. Eesti maa-ala järkjärguline vabanemine mere alt. Katkendjoonega on näidatud Balti paisjärve kõrgeim piir, punktirjoonega — Litorina mere maksimumaalne ulatus.

Eestist, Männikvälja—Uljaste piirkonnast (joon. 50). Selle umbes 12 000—11 900 aastat tagasi toimunud tähtsa sündmusega kaasnes kõigi Pandivere kõrgustikust läänes ja idas olnud jääpaisjärvede liitumine ühtseks suureks veekoguks. Leedulane V Gudelis ja rootslane E. Nilsson peavad Balti paisjärve veidi vanemaks, ligikaudu 12 200-aastaseks.

Balti paisjärvel (joon. 68, A) ei olnud ühendust ookeaniga, sest praeguste Taani väinade kohal oli tollal maakoos ookeani pinnast tublisti kõrgemal, Kesk-Rootsi madalamaid alasid kattis aga veel mandrijää serv. Osa teadlasi arvab, et Balti paisjärv oli Ida-Soome ja Karjala järvede kaudu mõnda aega ühenduses Valge merega, kuid uuemad uurimisandmed seda oletust ei kinnita. Järve veepind oli ookeani pinnast umbes 25 m kõrgem. Jääserva taandumisel järve pind alanes, vahepealsed peatumised või ajutised uued pealetungid aga tingisid veetaseme kerkimise ja vastsete rannikualade üleujutamise. Suuresti tõusis järve veepind 10 800 aastat tagasi, kui mandrijää serv pikka aega Lõuna-Soomes Salpausselkä servamoodustiste kohal peatus ja Kesk-Rootsi otsamoreenid kujundas (joon. 68, A). Selleaegsed Balti paisjärve ran-

namoodustised on Salpausselkä juures nüüdismerepinnast kuni 160 m kõrgemal, Eestis aga 36—68 m kõrgusel (joon. 69).

Vesi oli Balti paisjärves külm ja mage, pinnal võis sageli kohata laguneva mandrijää servast eraldunud jäämägesid. Vees leidis vaid väheseid lähisarktilistele ja arktilistele veekogudele omaseid eluvorme, näiteks ränivetikas *Melosira islandica* subsp. *helvetica*. Veepinnast kõrgematel aladel kasvas lähisarktiline Allerödi ja hilise Dryase taimestik, millest järvesetetesse kandus peamiselt kase ja männi ning mitmesuguste kuivalembeste rohttaimede õietolmu ja eoseid.

Mandrijää sulas kiiresti ning jõudis Kesk-Rootsi Billingeni mäeni. Niipea kui jää mäest põhja poole taanduma hakkas, mürdsid võimsad veevoolud tee kitsukesest maasillast läbi ja tungisid ookeani. Mühisesid mitmekümne meetri kõrgused Niagarast palju võimsamad joad, kuni lõpuks ookeani ja Läänemere vesi olid võrdsel tasemel. Madalate ja kitsukeste väinade kaudu pidanuks Läänemerre kanduma soolast ookeanivett ja tulema mereloomi. Kuid nagu jälle on näidanud hilisemad uurimised, ei toimunud fauna migratsioon ja soolase vee sissetung kuigi hõlpsasti. Küllap oli barjääriks rohke jää sulamisvesi, mis hoogsalt ookeani poole rühkis. Kujunenud Preboreaalse Joldiamere ehk lihtsalt Joldiamere juhtvormiks peetav limus *Portlandia* (*Yoldia*) *arctica* esines isegi Kesk-Rootsi rannikul kääbusvormina ning teda leitakse haruharva. Kaugemale ida suunas see praegu Põhja-Jäämere rannikuvetes ligikaudu $+4^{\circ}\text{C}$ juures elav limus vee madala sooluse tõttu arvatavasti ei jõudnudki. Seepärast on Soome uurijad hakanud kogu Läänemere Varaholotseenset etappi lugema Antsülusjärveks ja on loobunud nii Joldiamere kui ka sellele järgneva Ehheneismere mõiste kasutamisest.

Kuid selliste ränkade otsuste langetamiseks ei piisa ainuüksi Soome või Eesti rannikumere uurimisest. Vaja on hinnata meres kui tervikus, eeskätt avameres olevaid ökoloogilisi tingimusi. Läänemeri on küll väike, hõlmates tuhandiku maailmamere pinnast ja $1/70\,000$ ruumalast, kuid vee soolsuselt ja muudeltki näitajalt on ta üsna iselaadne. Põhjusi on palju, kuid olulisim on Läänemere soolikataoliselt väljavenitatud kuju. Ta hõlmab 12 laiuskraadi ja tervelt 21 pikkuskraadi, mistõttu tema eri osades on väga erinevad geoloogilised ja kliimaatilised tingimused. Kui veel silmas pidada piiratud veevahetust ookeaniga ja õrnhabrast ökosüsteemi, siis ei vaja pikka selgitust, et ühes piirkonnas saadud tulemusi ei tohi Läänemere teistele osadele mehaaniliselt üle kanda.

Võtame kasvõi problemaatilise Ehheneismere, mida Soomes ei suudeta leida, kuid mille olemasolu Poola ja Saksa DV rannavetes ei tekita kohalikes uurijates kahtlusi, sest ainuüksi tema

juhtvormi, soolaseveelist diatomeeetikat *Campylodiscus eche-neis*'i, leidub Arcona süviku vastavates setetes ligikaudu 50% kõigist diatomeeetikatest. Võib ju väita, et meie lõunapoolsed kolleegid on sügavas eksituses ja loevad Ehheneismere seteteks näiteks Litoriaanimere setteid, kuid seda süüdistust julgen praegu küll ainult eesti keeles välja öelda.

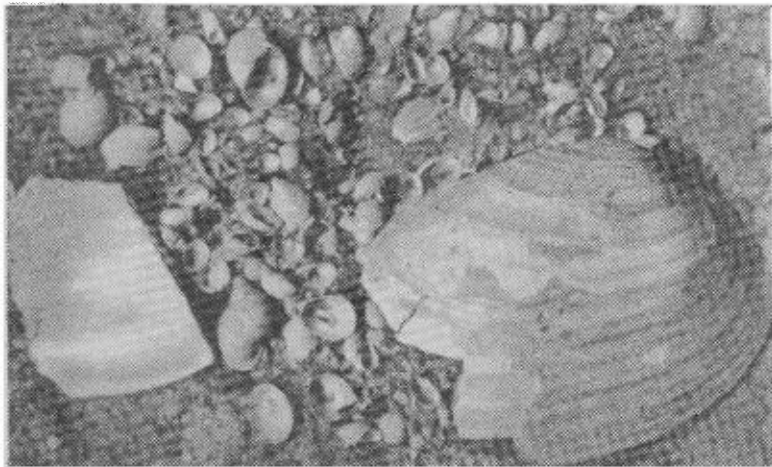
Stanislaw Jerzy Lec hoiatab, et kui mälestussammas lammutatakse, tuleb alati säilitada selle alus, sest seda võib veel tarvis minna. Seetõttu pean minagi õigeks tutvustada lugejale Läänemere klassikalist ajalugu.

Vastavalt aastakümnete jooksul kujunenud ja praegu kõigjalt rebenevale skeemile kujunes Joldiameri Billingeni lähimurde tulemusel 10 200 aastat tagasi (8213 a. e. m. a.). Kuid on väga võimalik, et «Billingeni katastroof» on vaid kaunis legend ja Balti paisjärv liitus ookeaniga täiesti rahulikult. Joldiameri esines jahedal ja niiskel preboreaalsel kliimastaadiumil, oli jahedaveeline ja väga nõrgalt riimveeline (joon. 68, B). Suurte jõgede suudmeis oli vesi ilmselt täiesti mage, sest ühendustee Atlandi ookeaniga oli kitsas ning soolase vee sissetung väike. Joldiamere domineerivad eluvormid olid Eesti alal mesohaloobsed kaltsifiilsed diatomeeetikad *Diploneis smithii* ja *Nitzschia navicularis*. Selle mere varasem nivoo (Y_1) oli Eestis transgressiivne. Praegu on umbes 9700 aastat tagasi kujunenud rannavormid Kõpu poolsaarel jäänud ligikaudu 55, Tallinnas 40 ja Pärnus 9 m kõrgusele.

Madala veetasemega Joldiamere kujunemine tingis mandrialadel jõgede erosioonibaasi madaldumise ja jääaja lõpu arvukate järvede tühjaksjooksmise, vähenesid Peipsi ja Võrtsjärve mõõdmed.

Seoses maakoore kiire kerkimisega jääst vabanenud alal muutus Joldiamere ühendus Põhjamere ja ookeaniga Vana-Vätterni väina kaudu umbes 9500 aastat tagasi hoopis nõrgaks ja vee soolsus Läänemere nõos vähenes veelgi. Seda ligikaudu 9300—8800 aastat tagasi olnud üleminekufaasi Läänemere arengus on hakatud nimetama Ehheneismereks. Et ühendus merega oli sel ajal praktiliselt juba katkenud, oleks ilmselt õigem kõnelda Ehheneisjärvest. Kuidas sai sel ajal esineda riimveeline fauna ja flora basseini lõunaosas, ei ole selge. Loogiliselt võttes poleks seda saanud olla, kuid loogika siin ei aita.

Umbes 8800—7600 aastat tagasi laius Läänemere nõos Antsülusjärv, mis oma nime on saanud selles veekogus elanud iseloomuliku nappteo *Ancylus fluviatilis*'e järgi. Et nimetatud isend ei talu suuremat soolsust kui 2—3‰ ja ka ülejäänud limustefauna (*Physa fontinalis*, *Radix ovata* var. *baltica*, *Bithynia tentaculata*, *Physa amnicum*, *Anodonta cygnea*, *Unio tumidus* jt.) koosnes mageveeliikidest (joon. 70), tuleb see veekogu lugeda



Joonis 70. Antsülusjärve molluskid Kirblast. Helgi Kesseli foto.

täiesti magedaveeliseks. Vee temperatuur järves oli ligilähedane tänapäeva merevee temperatuurile. Imetajatest elutses Antsülusjärves viiger, kaladest merihärg, ahven, luts, haug, särg jt. Rohkesti leitud alamaid vähilisi, taimedest mageveelisi ränivetikaid (*Melosira arenaria* jt.).

Antsülusjärve ulatus oli suurem kui eelmistel Läänemere nõo veekogudel, sest järv võttis enda alla uued, seni jääga kaetud alad Skandinaavia põhjaosas, Botnia lahes ja Kesk-Soomes (joon. 68, C). Veetase oli ookeani pinnast 12—13 m kõrgem. Väljavool toimus alguses üle Kesk-Rootsi, Närke väina kohale kujunenud Svea jõe kaudu. Hiljem see tee sulgus. Väljavoolava vee hulk oli aukartustäratav: umbes 20 000 m³/s, mida võib võrrelda Volga 2,5-kordse vooluhulgaga.

Kliima oli Antsülusjärve ajaks muutunud soojaks ja kuivaks, keskmine suvine temperatuur oli isegi veidi kõrgem kui praegu. Mandrijää oli Antsülusstaadiumi ajaks taandunud Skandinaavia mägedesse (joon. 68, C). Antsülusjärve veed tungisid alguses peale (*A₁* faas), seejärel taandusid meie alalt järk-järgult. Et maa-koor Loode-Eestis kerkib intensiivsemalt kui Edela- ja Kirde-Eestis, asetsevad Antsülusjärve vanad rannamoodustised sarnaselt Läänemere teistegi vanade rannamoodustistega erinevatel absoluutkõrgustel. Kõpu poolsaarel on Antsülusjärve vanimad rannamoodustised tänapäeval 45 m üle merepinna, meie vabariigi edela- (Heinaste ümbruses) ja idaosas (Narva lahe rannikul) jää-

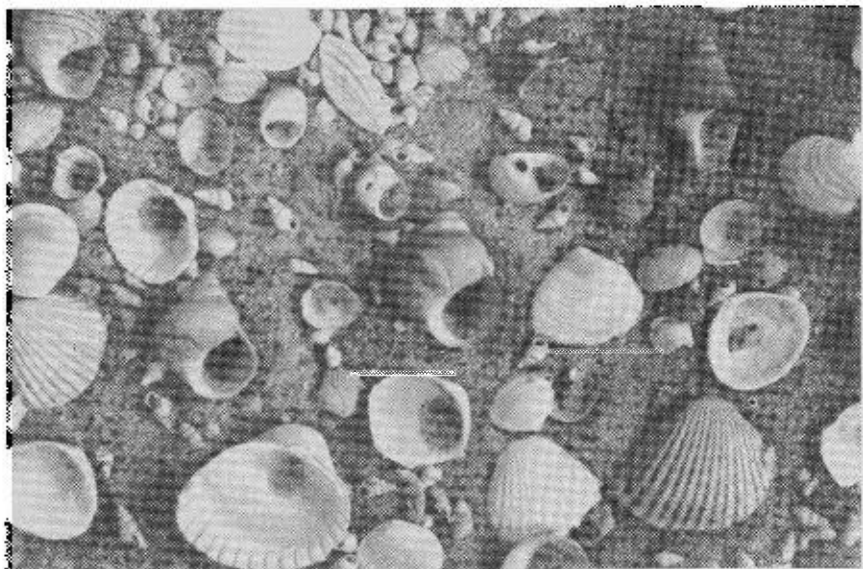
vad aga allapoole nüüdisaegset merepinda või kulgevad sellest õige vähe kõrgemal. Üldse on Antsülusjärve rannamoodustisi Eestis teada kuuel eri tasemel.

Hiiumaa oli Antsülusjärves praeguse Kihnu saare suurune ja Saaremaast oli pika ja kitsa saarena veest väljas ainult Lääne-Saaremaa kõrgustik, mille looderannikul kujunesid Kodaramäe ja Viidumäe astangud. Sõrve poolsaare kõrgem keskosa oli väike saareke, niisamuti Toompea Tallinnas, Tõstamaa poolsaare kõrgem keskosa oli aga saarestik.

Maapinna aeglase vajumise tulemusena praeguste Taani väinade piirkonnas tekkis umbes 7600 aastat tagasi Antsülusjärve veele üle Darssi künnise avar väljavoolutee. Järve veepind alanes ookeani tasemeni ja koos soolase vee sissetungiga algas Läänemere arengus uus etapp, riimveeline Mastogloiameri (sellele staadiumile iseloomuliku ränivetika *Mastogloia schmidtii* järgi). Vahel kutsutakse seda merd ka Klüpeusmereks (riimveelise ränivetika *Campylodiscus clypeus*'e järgi). Kliima oli tollal niiske ja soe. Praeguses Soome lahes elasid tüüpilised riimveelised limused, nagu *Cardium edule*, *Mytilus edulis* ja *Limnaea peregra*.

Seoses Taani väinade piirkonna edasise vajumise ja ookeanivee tõusuga hakkas umbes 7200 aastat tagasi Põhjamereist Läänemerre tungima senisest palju rohkem ookeanivett. Vee soolsus kasvas kiiresti ja saavutas jääajajärgse maksimumi, olles Eesti rannikuvetes 8—15‰. Põhjamereist Läänemerre rännanud uustulnukate hulgas oli ka merelimus *Littorina littorea*, kelle järgi uut merd nimetatakse Litoriinamereks. Kuigi Litoriinamerel polnud enam ühendust Laadogaga ja mitmete teiste veekogudega, oli ta ometi nüüdisaegsest Läänemerest veel märksa suurem (joonis 68, D). Suur osa nüüdisaegsest Eesti territooriumist oli Litoriinamere voogude all (joon. 69). Veepinna kõrgus muutus korduvalt, sest maapinna jätkuvast kerkimisest tingitud taandumine asendus vähemalt kahel korral mere uue pealetungiga. Üldse on Litoriinamere rannavorme Eestis teada viiel eri tasemel kuni 25 m kõrguseni üle merepinna (Kõpu poolsaarel). Tallinnas on Litoriinamere setted umbes 22 m, Iklas aga 4 m kõrgusel.

Litoriinamere staadiumi alguseks saavutas jääajajärgne sooja-periood maksimumi ja suvekuudel oli meil keskmine õhutemperatuur vähemalt paari kraadi võrra tänapäevasest soojem. Eestis kasvasid ulatuslikult tamme segametsad. Vee-elustik oli rikkalik, valitsevad olid suhteliselt sooja- ja soolaseveelised liigid (joon. 71). Litoriinamere setetes leidub rohkesti selliste merelimuste kodasid nagu *Littorina littorea*, *Littorina saxatilis* var. *rudis*, *Scrobicularia piperata*, *Cardium edule*, *Macoma baltica*, *Mytilus edulis*, *Theodoxus fluviatilis*, *Hydrobia ventrosa* jt. Kuigi merevee soolsus oli Litoriinameres praegusest oluliselt kõrgem ja vesi

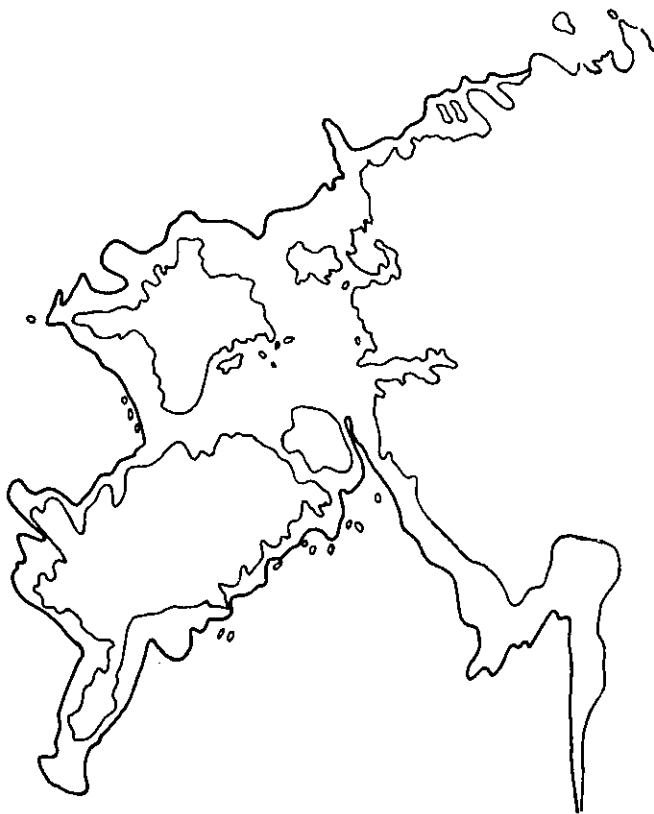


Joonis 71. Litoriinamere molluskid Laulasmaalt. Helgi Kesseli foto.

soojem, oli sealne elustik siiski õige lähedane tänapäeva Läänemere elustikule. Viimases puuduvad vaid eriti soolalembesed Litoriinamere vormid (näiteks *Littorina* liigid) ning mageveevormide hulk ja liigiline koostis on mõnevõrra suurem. Näiteks esinevad nüüdismeres Litoriinameres puudunud mageveelised *Limnaea peregra* ja *Limnaea stagnalis*.

Eestis oli ülekaalus laguunide- ja maasäärterohke rannikutüüp. Rannale kuhjus rohkesti liiva, kruusa ja veeriseid, millest kujunes suuri valle. Laienes rannikutasandik ja rannajoon oli nüüdisaegsele ligilähedane.

Umbes 4200 aastat tagasi algas ookeanitaseme aeglane, kuid selge alanemine, mille põhjuseks peetakse kliima jahenemist ja mandrijää kasvu polaaraladel. See tõi endaga kaasa Taani väinade madaldumise ja Läänemerre voolava soolase vee hulga vähenemise. Seda Litoriinamerele järgnenud ning veel praegugi jätkuvat magestunud veega Läänemere staadiumi nimetatakse veekogule iseloomuliku punnteo *Limnaea peregra* f. *baltica* järgi Limneamereks. Staadiumi algusest alates muutus vesi meres 5–8‰ võrra magedamaks ja umbes 2500 aastat tagasi algas tüüpiliste mageveeliikide sisseränne. Limneamere veed on Eesti maaalalt pidevalt taandunud. Tema selgemini välja kujunenud ranna-



Joonis 72. Kiire maatõusu tõttu Eesti pindala suureneb. Ligikaudu sellisena näeb meie koduvabariigi lääneosa välja 3000 aasta pärast.

forme on võimalik jälgida viiel eri tasemel kuni 13 m kõrguseni üle merepinna (Kõpu poolsaarel).

Läänemere arengu kõige viimast, umbes 500 aastat kestnud ajalõiku käsitletakse mõnikord ka Myamerena, silmas pidades tollal siia sisserännanud ookeanilimust *Mya arenaria*'t. Et viimaste aastasade jooksul ei ole Läänemere füüsikalised ja geograafilised tingimused oluliselt muutunud, ei loe Eesti uurijad iseseisva Myastaadiumi eraldamist küllalt põhjendatuks ja vaatlevad seda ajalõiku Limneamere noorima faasina.

Eeltoodust selgub, et seni on teadlastel õnnestunud kindlaks teha ainult Läänemere arengu põhietapid ning viimasteski on veel palju vasturääkivat. Eriti halvasti on tundma õpitud bas-

seini varasemaid arengustaadiume. Läänemere ajaloo detailküsimused vajavad veel selgitamist. See on võimalik üksnes kõigi Läänemerega piirnevate teadlaste ühiste jõupingutuste abil. Vastavad koostöölepingud ongi sõlmitud.

Läänemere minevikku me uurime selleks, et paremini prognoosida võimalikke arengujooni lähitulevikus. Mere lained ja hoovused toimivad nii purustavalt kui ka ülesehitavalt. Koondtulemus sõltub rannavööndi morfoloogiast ja kivimilisest koostisest. Suurt purustustööd teeb meri kobedatest kvaternaarisetetest koosneval astangrannal, tungib kohati jõudsasti peale, langetab puid ja ohustab isegi elamuid. Et mere tegevus avaldub Eestis maastõusu foonil, siis on purustused lühiaegsed. Toimub kiire maastumine, kohati inimea jooksul. Iseloomulikud on mitmete rannikujärvede (Linnulaht, Mullutu laht, Paadla laht jt.) nimed. Vahel aitab rannajoone muutustele kaasa ka inimene. Näiteks veel 1914. aastal oli Tallinnas nüüdse Paljassaare kohal kaks saart: Suur- ja Väike-Kaarli. Kui Esimese maailmasõja aastatel Tallinna sadamat süvendati, liitsid merest väljavõetud setted mõlemad saared mandriga.

Tundes randade dünaamikat ja teades maakerke kiirust, on üsna hõlpus ette kujutada Eesti kontuure näiteks 100, 1000 või isegi 10 000 aasta pärast. Näiteks on kolme aastatuhande möödumisel (joon. 72) Saare- ja Hiiumaa ning Muhumaa nii omavahel kui ka mandriga ühinenud ja üksnes praeguse Väinamere kõige sügavamates osades on säilinud mõned väikesed sisejärved. Mandriga on liitunud Pakri saared. Et maastõus toimub ka Kura maal, siis muutub mõne tuhande aasta pärast Riia lahtki järveks.

*Õõtsub mandri ja mere vahel
ranna pikk ja ahtake ahel
ulatub ümber maade ringi
köidab me teid ja seob me hingi*

Jaan Kaplinski

Jooni Eesti nüüdisranna geoloogiast

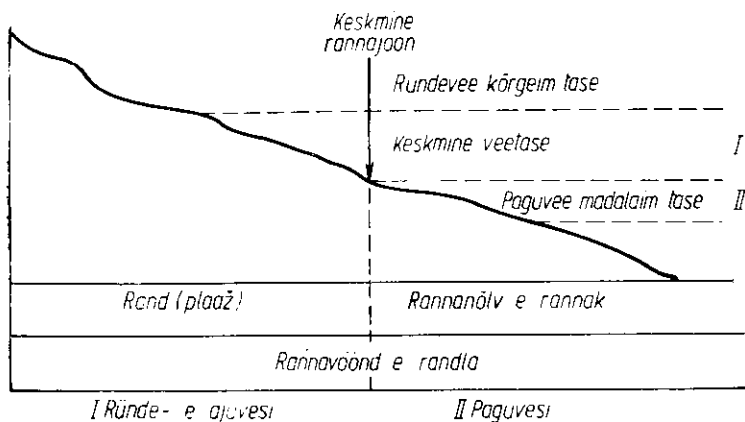
Me oleme merega kokku kasvanud ja niivõrd harjunud, et sageli ei märkagi tema maismaad mõjustavate avaldusvormide rohkust ja mitmekesisust. Pole meil kõnekeeles selgust selleski, mida nimetatakse rannaks, mida rannikuks.

Rannik on maismaa ja mere (või suurjärve) kokkupuuteala, mille piires on kujunenud meretekkelised pinnavormid. Ta hõlmab rannavööndi koos naabruses oleva maismaa, mere ja saartega.

Rannavöönd ehk randla (joon. 73) on Eesti mereuurijate Karl ja Kaarel Orviku järgi mere või suurjärve lainetuse poolt praegu kujundatav põhja- ja maismaavöönd. Tema maismaaosa nimetavad nad rannaks, veealust osa aga rannakuks ehk rannanõlvaks. Esimene asub keskmise rannajoone ja tugevaimaaju- ehk ründeeveeagse tormilaine mõjupiiri vahel, teine aga ulatub keskmisest rannajoonest sügavuseni, kus lainetuse mõju merepõhjale puudub. Suur osa Eesti geoloogidest ja geograafidest väldib terminit «rannavöönd» ja nimetab seda rannaks, kuna me ju ei kõnele tavaliselt rannavööndi liivast, vaid ikka rannaliivast, mõeldes selle all ka liiva, mida mööda me suvepäeval supluseks vette jookseme. Ranna veepealset osa nimetatakse sel juhul plaaziks.

Läänemere ühe või teise eellase poolt kujundatud erivanuseliste pinnavormide seeriat on Karl Orviku (joon. 74) poolt soovitatud nimetada rannastikuks (näit. Litoriinamere rannastik), kogu mere poolt mõjustatud osa aga rannastuks.

Rannajoon nihkub Eestis kord maismaa, kord mere poole, peamiselt tuule, vähemal määral ka tõusu ja mõõna tõttu. Sellistele lühiajalistele muutustele lisanduvad kestvamad. Kõige olulisemad rannajoont muutvad jõud on maasisesed pinged. Uhes kohas muutub meri maakoore tektooniliste liikumiste tõttu sügavamaks ja pindalalt väiksemaks, teisel laieneb. Rannajoone muutusi võivad põhjustada ka kliima muutumine ja jõgede toime,



Joonis 73. Rannavööndi elemendid (Eesti mereuurijate Karl ja Kaarel Orviku järgi).

sest osa merrekantud setteist tuleb lainetega randa. Ei tohi unustada ka mere murrutust, mis toimib rannal nagu lakkamatult töötav müüri lõhkumismasin. Tulemused sõltuvad rannikut moodustavate kivimite kõvadusest, lõhelisusest ja lasumusest (kas rõhtsad või veepinna suhtes kaldu).

Mere murrutus ehk abrasioon on eriti suur seal, kus rannavöönd on järsk ja sügav vesi ulatub rannajooneni. Siis jõuab ka lainetus täies võimsuses rannale. Järsunõlvalisel rannal tekivad vertikaalsed murrutusjärsakud, mille alumises, veepinnalähedases osas kujuneb murrutuskulpaid (joon. 75). Üks selline on Suurupi koobas samanimelise poolsaare põhjarannikul. Liivakivisse kulumisest 6,5 m sügavuse koopa kõrgus on suudmes 2,5 m ja laius 7,5 m. Mitmeid väiksemaid murrutusvorme, kulpaid, asub seal samas lähedal Tilgu pangal Rannamõisas. Nende kõrgus on enamasti 0,6—1 m, suurematesse mahub inimenegi. Seina tagaosas ühinevad kulpad mõne meetri pikkuseks koobastikuks.

Lainetuse poolt haavatud järsakust pärinev kivimmaterjal kantakse veega mere suunas, kus see kuhjub, moodustades aja jooksul murrutustasandiku, mis hakkab randa purustuse eest kaitsma. Lainetus kaotab seal suurema osa oma jõust ega suuda randa enam tugevasti murrutada. Kui ranniku arengutingimused tektoonika või mõne muu teguri toimel ei muutu, hakkab abrasioonirannik tuule, vooluvee ja varisemise teel lamenduma ning muutub laugeks. Kui rannik teeb läbi tõusuliikumisi, võib mur-



Joonis 74. Pole kvaternaargeoloogia valdkonda, kus akadeemik Karl Orviku (1903—1981) ei oleks sekka öelnud oma kaalukat sõna. Viimastel elu-aastakümmetel olid tema meelisteemad Läänemere geoloogia, geoloogia ajalugu ja geoloogia eestikeelse terminoloogia täiustamine.

rutus taas jätkuda või uuel tasemel alata. Kui rannik vajub, siis varem kujunenud merevormid upuvad ja murrutuskulpad uuristuvad üha kõrgemale, astang ise aga taandub maismaa suunas. Murrutus on kõige tugevam merre ulatuvatel neemedel. Nendevahelistes lahtedes murrutatud materjal kuhjub, rannajoon aga õgvendub.

Eesti rannavöönd on õgvenduv murrutuskuhjeline. Lihtsamalt seletatult muutub meie rannajoon «sirgemaks». Maatõusu tõttu rannajoone käärulisus väheneb, etteulatuvaid rannaosi purustab lainetus, lahesopid aga maismaastuvad sinna kantud mereliste setete tõttu. Vastavalt vanale reljeefile vahelduvad sügavneva

merepõhjaga alad laugepõhjalistega, seetõttu valitseb esimestes lainetuse rannajärsakut purustav ehk murrutav tegevus, teisel setteid kuhjav toime.

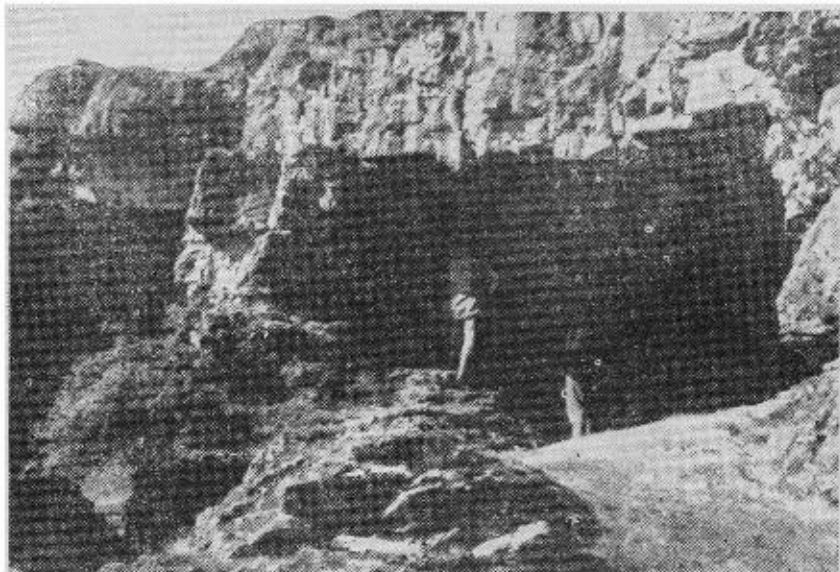
Eesti nüüdisranna pikkus on aukartustäratav, kokku ligikaudu 3400 km. Sõltuvalt asendist tuulte ja lainete suhtes, maakoore tektoonilise tõusu kiirusest, vanast reljeefist, basseini hüdrooloogilisest režiimist ning rannikul esinevatest vanematest setetest ja pinnavormidest, on ranna geoloogiline ehitus kiiresti vahelduv. Rannadünaamika seisukohast on eriti oluline, kuidas meri avamere suunas sügavneb: toimub see kiiresti, on tegemist järskrannaga, on see aeglane, esineb laugrand. Eestis tüüpilist järskranda ei ole. Kõikjal laiub laugrand, mille piires eristatakse järsak- ja lauskranda. Esimest iseloomustab kõrgema või madalama murrutusjärsaku ning kitsama või laiema murrutuslava esinemine. Järsakranna tekkimise eelduseks on vanema reljeefi järsu nõlva (näiteks paekalda) olemasolu ning tormilainetele kättesaadavus. Need tingimused esinevad eeskätt ranniku väljaulatuvatel osadel, neemikute tippudes. Vastavalt sellele, kas järsakrand on murrutatud aluspõhja kivimitesse või kvaternaari setetesse, eristatakse pankranda ja astangranda.

Pankrannal astub merelainetele vastu enam-vähem püstseinaline aluspõhja kivimitest murrutusjärsak. Selle ees asetsev murrutuslava on tasane ning lahtist materjali on seal vähe. Soome lahe rannikul esineva pankranna alumine osa on murrutatud kambriumi ja ordoviitsiumi liivakividesse, murrutusjärsaku ülemise osa moodustavad alamordoviitsiumi lubjakivid (näiteks Merikülas, Rannamõisas, Tiskres jm.). Lääne-Eesti saarte pankrand on aga tervikuna murrutatud siluri lubjakividesse (Püssina, Ninase, Osmussaare jt.).

Kobedatesse kvaternaari setetesse murrutatud astangranda esineb Eestis suhteliselt harva. Näiteks võib tuua moreeni murrutatud astangu Mõntus Saaremaal ning ranna- ja tuiskliiva kulu-
tunud astanguid Järvel ja Valgerannas. Astangranna murrutusjärg on vaid mõni meeter kõrge ja suhteliselt lauge (20—40°). Setete kobeduse ja murrutuse episoodilisuse tõttu on järsaku jalam ja alumine osa kaetud rusukaldega, ka murrutuslaval leidub hulgaliselt järsakust alla varisenud lahtist materjali. Astangrannad hääbuvad üpris ruttu ja asenduvad ühe või teise lauskranna tüübiga.

Lauskrannal murrutusjärsakut pole ning maapinna ühtlase väikese kallakuse tõttu nii maismaal kui ka merepõhjas ei saa seda tekkida isegi murrutuvatel rannalõikudel. Lauskranna olulisemad tüübid on kaljurand (paerand), moreenrand, veeristikrand (kliburand), liivarand ja möllirand.

Kaljurannal (joon. 76) paljandub lame paene aluspõhi, näiteks



Joonis 75. Murrutuskulbas Üügu pangal Muhumaal. Anto Raukase foto.



Joonis 76. Tormilainetele avatud kaljurand Vilsandil. Reet Karukäpa foto.



*Joonis 77. Moreenrannal leidub rohkesti rändrahne. Ristna rand Kõpu poolsaarel.
Anto Raukase foto.*

Vaika saartel ja Vilsandil. Kaljurand on seal avatud tugevatele tormilainetele, mistõttu püsivat pinnakatet esialgu ei saagi kujuneda. See tekib alles ajapikku, kui maatõus laiud lainete meelevallest kõrgemale kergitab.

Eestis sageli esineval moreenrannal paljandub ja murrutub moreen, mistõttu seal leidub palju viimasest väljapestud ja merejää poolt kokkulükatud rändrahne (joon. 77). Koos kruusa, veeriste ja munakatega moodustavad rahnud edasist murrutust pidurdava murrutussillutise.

Veeristikrannale (joon. 78) annab näo kruusa ja veeriste kuhjumine püsivate või ajutiste rannavallidena, mis esinevad tavaliselt neid settematerjaliga toitvate järsakrandade vahetus naabruses (Püssina, Ninase jt.) ning tekivad peamiselt materjali piki-rändel neemiku tipult lahesopi suunas. Vahel on settled merepõhjust risti rannajoonega välja paisatud (näiteks Harilaiul ja Kalanäs). Esimesel juhul on rannavorme moodustavad veerised hästi ümardunud, teisel juhul teravakandilised. Kui eespool vaadeldud rannatüübid olid esmajoones murrutusrannad, siis veeristikrand ja järgnevad rannatüübid on peamiselt kuhjerannad.



Joonis 78. Vceristikrand Ontikal. Karl Orviku foto.



Joonis 79. Eelluidetega liivarand Kloogal. Kaarel Orviku foto.

Tüüpiline kuhjerand on liivarand (joon. 79). See esineb tavaliselt lahekülgedel ja -soppides (Klooga-Rand, Pirita, Tahkuna) ning kohtades, kus rannajoon on suhteliselt vähe liigestatud, mistõttu on soodsad eeldused rändeliste settevoolude tekkimiseks, näiteks Pärnust lõunasse ja Aserist idasse kulgevatel rannalõikudel. Viimatinimetatud õgurannad paiknevad kohtades, kus maa-koore neotektooniline kerkimine on väga aeglane ning rannajoon seetõttu suhteliselt stabiilne. Liiv on valdavalt merelainetega kohale toodud ning pärineb murrutusosalal peenenduvatest kivimitest — liivakividest, moreenist, liustikujärvede ja -jõgede setetest, ka varasemast mereliivast. Jõgede poolt merre kantud liiva osatähtsus on Eestis väike ning väärib tähelepanu üksnes Narva ja Pärnu jõe suudmealal. Liiv kuhjatakse rannale madalate liivavallidena, kust meretuultega kantakse liivaranda maa poolt piiravatele eelluidetele (joon. 79). Liivavallid kuhjuvad leetseljaku-tena ka rannanõlvale. Tormilainetega paisatakse rannale sageli adruvalle, viimastega koos ka veeriseid ja isegi munakaid. Rahne ning munakaid võib merepõhjast kokku lükata ka merejää.

Möllirand esineb lainetusvaiksetes lahesoppides ja tuulealustel saarte ning poolsaarte varju jäävatel rannalõikudel, ulatuslikult Haapsalu ja Matsalu lahe rannikul, Saare- ja Hiiumaa lõunaosas, Tahkurannas jm. Selline rand on tavaliselt väga lauge ning taimestik kasvab kuni veepiirini, kõrkjad ja pilliroog ulatuvad isegi kaugele paguven rannale. Rannasetted on õhukesed ning peeneteraliseid, enamasti aleuriidid. Kuigi möllirand kuulub kuhjerandade hulka, on setete kujunemine niivõrd aeglane, et ei suuda taimestiku arenemist nimetamisväärselt takistada, rand on alati tugevasti kamardunud. Peale tormi kohtame seal sageli looklevaid rannalepaisatud adru-, pilliroo- ja kõrkjavalle.

Samalaadsed rannatüübid ja -setted esinevad ka Läänemere varasematel staadiumidel. Erinev oli üksnes asjaolu, et kui nüüdisajal meri pidevalt ja küllalt kiiresti taandub, siis varem, nagu nägime eelmises peatükis, asendus taandumine korduvalt mere ajutiste pealetungidega. Et maapinna neotektooniline kerkimine ja veepinna tõus olid võrdsed vastased, püsis mere pealetungide ajal rannajoon suhteliselt pikka aega enam-vähem samal tasemel, mistõttu meresetteid kuhjus rohkem (kohati 6—7 m) kui taandumisajal. Mere pealetungisetete alla mattus kontinentaalseid soo- ja järvesetteid, mille palünoloogiline uurimine ja füüsikalise vanuse määramine võimaldab Läänemere keerukat ajalugu edukalt uurida.

*Rannake, rannake, rahnudest kaetud,
lainete paitatud, lainete aetud,
karidest kirjatud, neemedest saetud,
räägi, mis lood on su liivasse maetud?*

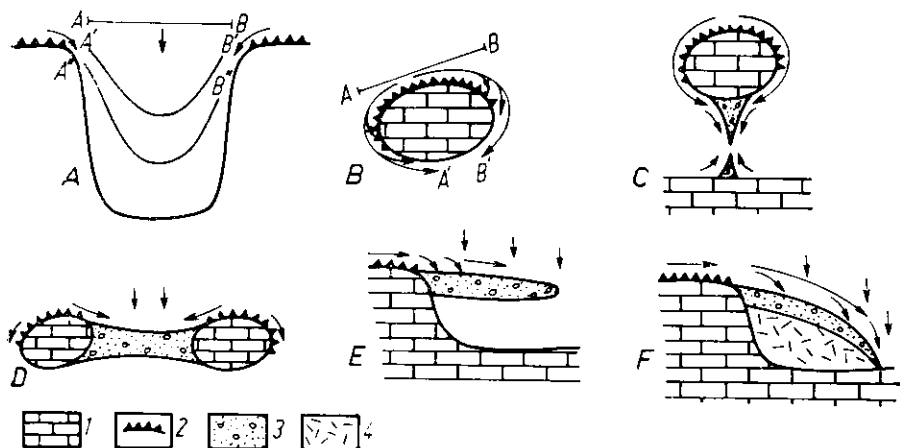
Juhan Smuui

Rannavormide tekkeloost

Meri on alati suurem kui inimene. Võime end küll ta sõbraks või vaenlaseks pidada, kuid oma tegemisi tuleb meil ikka mere kapriiside järgi seada. Meri on tujukas ja ta meeleolusid on raske ette aimata. Kui ta raevutsema hakkab, võib ta ranna kiiresti tundmatuseni ümber vormida, ühest kohast osa setteid kaasa nilpsata, et neid teisel maha raputada. Meri töötab alatasa, kuid nõrgad lained nihutavad setteid edasi-tagasi vaid väikeses ulatuses. Ranna tugev murrutus toimub rajutormidega kõrge ründevee korral. Jõuline laine paiskub sepahaamri tugevusega vastu rannakaljusid, kuid võib ka setteid kaugele maismaale kanda, kuhjates seal veeristest, liivast ja kruusast rannavalle, mida tavaline laineitus ei suuda hiljem purustada.

Lainete kujundatud rannavormide nimistu on pikk, kuid aegade jooksul on peaaegu kõik selles leiduv meie randadel esinenud. Vaatame lähemalt, kuidas kujunevad neist vormidest kõige olulisemad, maasääred, põiksääred, tombolod ja barrid. Kõigi nende moodustumise aluseks on keerukad maismaa ja vee piiril toimivad füüsikalised protsessid, mida tänapäeval on edukalt modelleeritud ja tundma õpitud.

Juba ammu pani meresõitjaid imestama, et lained tulid randa tuule suunast olenemata. Kui hakkaksime lõunatuulega Tallinna reidilt laevaga Helsingisse sõitma, ei näeks me kuskil kohta, kus lained kahele poole liikumist alustaksid. Naissaarel rulluvad need nii saare lõuna- kui ka põhjarannale ja Helsingi sadamas jõuavad rannale nagu tuul neid tagant tõukab. Nurgi merre ulatuva maanina randa uhuvad lained aga mõlemast suunast. Seda põhjustab asjaolu, et avamerelt rannale saabuv laine pöördub lõpuks rannajoonega rööbitiseks, sest laine osa, mis varem madalasse vette jõuab, pidurdub liikumisel, rannast kaugemal asetsev lõik sõuab aga takistust leidmata jõudsalt edasi. Lainerinde paindumist rannavööndis vastavalt sügavuste jaotumusele rannalähedases meres nimetatakse lainete refraktsiooniks ja sellel nähtusel on erinevate rannavormide kujunemises oluline osa. Et lainerinde pain-

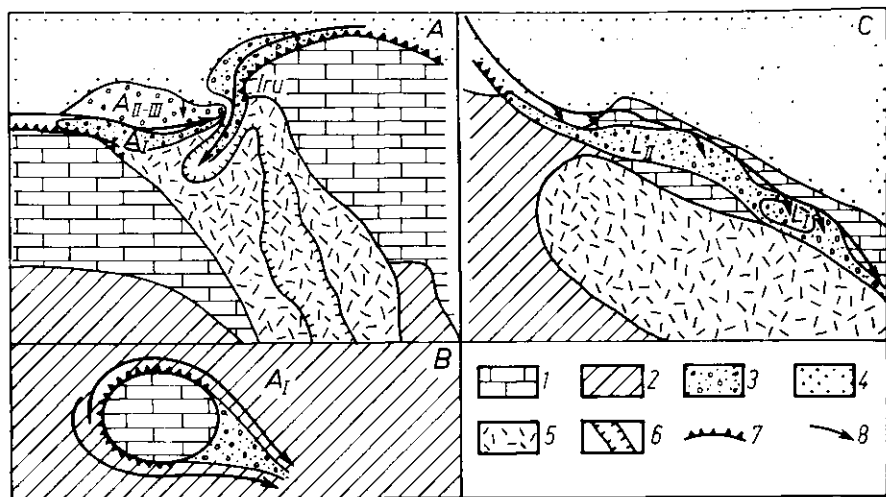


Joonis 80. Mõnede Eestis enamlevinud rannavormide kujunemiskäik: A — põiksäär, B — nooljas maasäär, C — tombolo, D — saartevaheline tombolo, E — maasäär, F — sõlmjas maasäär; 1 — paene aluspõhi, 2 — murrutatav astang, 3 — rannavormi kruusad ja liivad, 4 — järve- ja soosetted. Nooltega on näidatud sette rändesuunad.

dumise tõttu selle eri osad eri suunas liiguvad, ei pruugigi lained oma sisepingete tõttu tuule suunda oluliselt arvestada.

Neemede, saarte ja leetseljakute ümbruses on meri tavaliselt madalam, lahesuudmeis ning väinades sügavam. Seetõttu hakkab laine esimeste ümbruses pidurduma, teiste kohal aga liigub edasi. Kokkuvõttes venib lainerinne pikemaks ja hakkab jäljendama rannajoont, õigemini rannalähedase mere sügavust. Uhtlasi muutub ta jõud nõrgukeseks ja ta püüab ülejõu käivat settekoormat maha raputada.

Jälgime seda protsessi Põhja-Eesti liigestatud laherannikul (joon. 80, A). Kujutlegem klindilahekesele lähenevat lainefronti A—B, mis lahte sisenedes ja põhjareljeefiga kohandudes kiiresti pikeneb frondiks A'—B'. Neemikutel teeb meri murrutustööd, kuid ei jõua kaasahaaratud suhteliselt jämedat materjali kuigi kaugele kanda, vaid jätab selle maha üsna lahe suudme lähedale. Et kuhjumine toimub üheaegselt mõlemast suunast, kujuneb kahe kasvava maasääre liitumisel pinnavorm, mida nimetatakse põiksääreks. Põiksääri ei tarvitse kaugele otsida, üks on kuhjunud vanas Antsülusjärve lahes Iru (joon. 81, A), teine Maardus (Kroodil). Vanadesse pangalahtedesse voolanud jõed võisid põiksääre

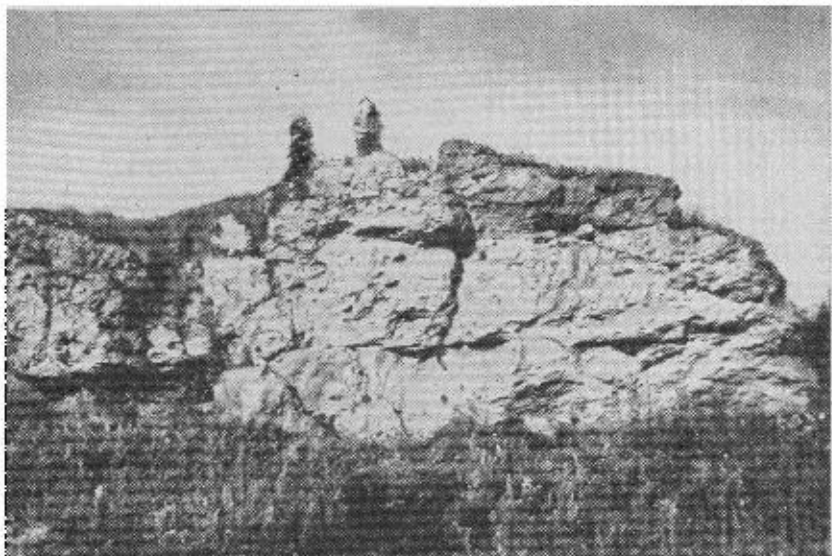


Joonis 81. Rannavorme Eestist. A — Iru pöiksäär, B — Kirbla nooljas maasäär, C — Vääna maasäär; 1 — paene aluspõhi, 2 — moreen, 3 — rannavormi kruusad ja liivad, 4 — mereliiv, 5 — soosetted, 6 — jõeorg, 7 — murrutatav astang, 8 — sette rändesuunad.

lõplikku kokkukasvamist takistada, nagu näemegi Irus. Et Põhja-Eestis sageli puhuvad tormised loodetuuled, on sealsete pöiksäärte läänepoolsed osad tavaliselt pikemad ja võimsamad, sest idasse kandunud settevool oli suurem. Irus on siiski ka linnuse alla jääv maasääre idapoolne osa küllaltki imposantne ja pakkus omal ajal meie esivanematele tõhusat kaitset.

Eestimaa on teatavasti saarterikas, seepärast eestlane ei vaeugi huvi tundma, kuipalju meil neid üldse on. Erinevate allikate alusel kõigub Eesti saarte arv 728 (Jaani Rumma) ja 1593 (August Tammekann) vahel. Ei ole isegi kokku lepitud, mida tuleks saareks nimetada, mida laiuks ja mida eelsaareks (rahud, karid, kared jt.). Ei ole ka selge, missugused arvukatest rahva seas kasutusel olevatest pisisaarte nimetustest tähistavad suuremaid, millised väiksemaid maalapikesi.

Veelgi raskem oleks kokku lugeda saarte arvu möödaniiku meredes, see oli tohutu suur. Iga selline saareke pidas oma olemasolu eest merega halastamatut võitlust. Osa purunes lainete haardes, teise osa pindala kasvas, paljude taha kujunesid nn. nooljad maasääred, mille teket vaadelgem Kirbla näitel (joon. 80, B; 81, B). Kahju ainult, et selline igat geoloogia õpperaamatut



Joonis 82. Kirbla kõvik ulatus vaevu-vaevu üle Antsülusjärve veepinna. Lainete murrutusel hakkas tema taha kujunema nooljas maasäär, mis Litoriinameres veelgi pikenes. Anto Raukase foto.

näitena kaunistav maasäär on hävitatud ja selle kruus maantee muldkehasse rännanud.

Kirbla maasäär kujunes Antsülusjärve voogudes, kust praegune aluspõhjakiivimistest kõvik esialgu vaevu-vaevu üle veepinna ulatus (joon. 82). Kõviku põhjanõlvu murrutasid lained. Sealt lahtimurtu jätsid nad kõviku taga olnud vaikselt vees maha. Kujutame sellest protsessist ette vaid väga lühikest, sekunditega mõõdetavat ajalõiku, kui saarekesele lähenes lainefront $A-B$ (joon. 80, B). Teame, et lained püüavad randa tulla rannajoonega risti, mistõttu esialgne, saart põhjast või loodest võimsalt rünnanud lainefront jaotub ühtlaselt ümber saarekese. Uue, pikenenud lainefrondi $A'-B'$ jõud on algsest märksa väiksem. Pealegi toimub saare taga lainete pörkumine ja kustumine. Lainetuse jõud muutub nüüd saare tuulealuses osas praktiliselt nulliks ja kogu antud ajahetkel lainete meelevaldas olnud settematerjal vajub merepõhja. Eriti intensiivne maasääre kasv toimub tormilainetega, mis kannavad saare taha suuri kamakaid ja munakaid.

Maatõusu tõttu taandus meri Kirblast ja lained ei ulatunud isegi tugeva tormiga Kirbla paeastangut niilpsama. Settimine kõrgema ala taga jätkus aga veel pikka aega, isegi järgnenud Lito-

riinamere staadiumil. Sealses madalaks jäänud meres kuhjusid valdavalt peeneteraliseid liivad, mis kujundasid maasääre sabaosa.

Kui saareke asetseb mandri lähedal, võib ta viimasega maasääre abil kokku kasvada. Harilikult hakkab lainevarjus sellisele maasäärele mandrilt teine maasäär vastu kasvama (joon. 80, C). Sellist liitunud vormi kutsutakse tomboloks. Üsna suur tombolo kujunes omal ajal Antsülusjärves ka Tallinnas Toompea ja Lasnamäe vahel, kuid linnaehituse käigus on see tasandatud. Ühte osa endisest tombolost tähistab kõrgendik Kaarli kiriku kohal.

Tombolo võib kujuneda ka kahe saarekese vahele (joon. 80, D) nagu näiteks Antsülusjärves Keedika ja Hardu ooside vahele Loode-Eestis. Kuid see protsess toimub mõneti teistlaadselt, olles lähedane põiksäärte kujunemisele.

Meres olev settematerjal liigub pidevalt edasi, tavaliselt piki rannikut mingis kindlas suunas. Ühesuunaline liikumine piki rannikut on enamasti tingitud ühest ja samast ilmakaarest puhuvatest tuultest. Soome lahe idaosas rändavad setted Eesti rannikul ida suunas, Edela-Eestis Pärnu—Ikla rannalõigul aga lõunast põhja.

Kohas, kus rannajoon käändub, jätkub setete pikiliikumine ja meri hakkab ranna iluvigu parandama, pannes aluse maasäärte kujunemisele. Viimased saavad tekkida ainult teatud sügavuseni (joon. 80, E). Sageli käänduvad seepärast maasääred madalama merepõhja otsingul maa suunas ja kujundavad sõlmjaid maasääri, mis võivad aja jooksul maismaaga liituda ja eraldada merest esialgu laguuni, hiljem rannajärve (joon. 80, F). Maasäärtega eraldunud rannajärved on Madal-Eestile väga iseloomulikud, nende hulka kuulub ka Ülemiste järv Tallinnas, mis on merest eraldunud ligikaudu 8500 aastat tagasi. Kuidas selline protsess toimus, näeme joonisel 81, C Vääna maasääre näitel.

Eespool tutvusime peamiselt setete pikirändel kujunenud rannavormidega. Sellega paralleelselt toimub settematerjali ristiränne, mille tulemusena paeselt rannanõlvalt paisatakse rannale teravakandiline ümardumata klibu, liivarandadel aga kujunevad ja rändavad veealused vallid. Kui meri taandub, jäävad esialgselt vee all kuhjunud, rannajoonega paralleelsed vallid maha barriidena (joon. 83). Barrid võivad väga pikad olla. Meil tuntuima, Loode-Eestis asetseva Kuijõe barri pikkus on 36 km. Barrid on sageli luitestunud.

Piki- ja ristirändel kuhjunud jämedateralist materjali on hõlpus eristada. Esimese puhul on materjal alati ümardunud, seda rohkem, mida kestvam on olnud kandumine. Oeldut võib igauks kontrollida näiteks Mustjala pangal, kust murrutatud materjal kandub lõuna suunas ja on ligikaudu 600 aasta jooksul kujundunud mitme kilomeetri pikkuse maasääre. Kuid hästiümardunud



Joonis 83. Veealuse liivavalli (I—I) kujunemine barriks (II—II) ja barride süsteemi (III—III) kujunemine; 1 — liiv, 2 — laguunisettid.

materjali seas näeb siingi teravakandilisi lubjakivitükke, mis on merest ristirändega välja paisatud.

Ristirändel kuhjunud rannavalle kohtab sageli väikestel laidudel, kus neile on väga iseloomulik sirbi või poolkuu kuju. Kord kuhjunud vallid võivad seni taas hävida, kuni maatõus nad lainetele kättesaamatuks muudab.

Eesti laiud võimaldavad hästi jälgida esmast mullatekkeprotsessi ja pioneertaimede levikut. On ju seal võimalik vaadelda erinevas kujunemisjärgus saarekesi. Ühed ulatuvad haruharva üle veepinna ja kaovad tuule suuna muutumisel taas vee alla. Teised on küll endale püsivalt eluõiguse nõudnud, kuid neistki käib murdlusvool veel sageli üle. Kolmandatel on peal klibukord ja tsipake savigi, kus tagasihoidlik roosade õiekestega rannikas koos tuderloaga on kanda kinnitanud. Selliste esmasasukate kasvu ei häiri seegi, kui suurte tormide ja kõrge veeseisu korral nende eluase ajuti vee alla jääb. Edasi tulevad juba saared, millest isegi tormilaine jõud üle ei käi. Eri arengujärgus laidusid võib vaadelda Lääne- ja Loode-Eesti saarte arengu algsete etappidenä.

Rannaribadele, mida merevesi veel mõnikord üle ujutab, on iseloomulikud soolakulised rannamullad, neil kujunevad soolalembeliste taimeliikidega rannaniidud. Väljaspool merelainetuse mõjupiirkonda esinevad õhukesed kamarkarbonaاتمullad, rannavallide vahelistes nõgudes aga soostunud kamarmullad. Esineb ka huumuskarbonaاتمuldi. Igale mullaerimile ja reljeefitüübile on kohandunud spetsiifiline taimekooslus. Eakamatele saarekestele ilmuvad põõsad ja kadakad, lõpuks metsapuud, moodustades loomannikuid ja salumetsi. Nii on see kordunud aastatuhandeid ja jätkub ka edaspidi.

*Nüüd tormjalt süngeks muutub seni lahke laht.
Murdlane suul on kobrutamas valge vaht.
Voog vihasena hambad kalda külge lööb,
siis taganeb ja märjal liival mustab praht.
Uus laine kalda all merd sügavamaks sööb.*

Helgi Kauber

Tormide rüsida, lainete sasida

Päevi, mil tuule kiirus ületab 15 meetrit sekundis, on Eesti rannikul aastas paarkümmend, Vilsandil koguni üle neljakümne. 6. augustil 1967. aastal Loode-Eestit ja sama aasta 18. oktoobril Pärnu ümbrust laastanud orkaani kiirus oli puhanguliselt enam kui 35 m/s. Enamik tugevaid torme langeb sügiskuuudele.

Väga meeoleukalt on tormiöö tunnet paekaldal tabanud Ivan Bunin jutustuses «Sügisel»: «Mere ähvardav kohin järsaku all eristus kõigist selle äreva ja unenäolise öö häältest. Hiiglasuur ja kaugusse kaduv, lebas ta sügaval allpool, seal valendasid läbi hämaruse maa poole ruttavad laineharjad. Hirmuäratav oli ka vanade paplite korrapäratu kohin rannakaljudel sünge saarena esile kerkiva aiataara taga. Oli tunda, et selles inimtühjas kohas valitseb nüüd võimukalt hilissügise öö; vana suur aed, talveks suletud maja ja lahtised lehtlad aianurkades kohutasid oma maha-jäetusega. Ainult meri kohises ühtlaselt, võidukalt, justkui üha suursugusemalt, oma jõudu tunnetades. Niiske tuul püüdis meid kaldapealsel jalust maha lükata ning me ei suutnud küllastuda tema pehmest, hingepõhjani tungivast värskusest. Märjal savisel jalgrajal ja puutreppide jäänustel libisedes hakkasime laskuma alla, nõrgalt sätendava vahuse laintemurru poole. Kui kruusale astusime, hüppasime kohe kõrvale vastu kive sööstva laine eest. Ülal kõrgusid ja kohisesid mustad paplid, all, otsekui vastates neile, tantsisid pööraselt ja raevukalt murdlained. Kõrged, meieni lendavad lained sööstsid kahurimürinal kaldale, keerutasid terve koskedena üles sädelevat lumist vahtu, kaevusid liiva ja kivide vahele ning viisid taganedes kaasa sasitud vesikasve, muda ja kruusa, mis pahises ja krigises selles niiskes kohinas. Ja kogu õhk oli täis peent, jahedat tolmu, kõik ümberringi õhkus mere vaba värskust.»

Mererand on koht, kus inimesed märkavad looduses toimuvaid muutusi hõlpsamini kui mujal. Torkab ju merejää poolt kohalt nihutatud kivimürakas või öö jooksul tormist ära uhutud ranna-

riba igaihele otsekohe silma. Ja kohe käivituvad häirekellad: «Mis saab minu suvila ümbrusest või supluskohast aastate pärast, kui mõne tunniga on terve meeter rannast kaduma läinud?» Kallimate hoonete ümber hakatakse rajama betoonist kaitseseinu ning lainemurdjaid, kuid enamasti edutult, sest tormilaine jõuga ei suuda inimkäte loodud materjalid kuigi kaua võidelda. See pärast on enamikus maades neist loobutud. On jõutud üsna lihtsa tööni, et odavam on kulutada vahendeid ranna dünaamika uurimisele ja sel teel vigu vältida, või lasta ranna kujunemise seaduspärasusi tundes loodusel endal tekitatud haavu parandada. Nagu kiskja ründab karjas nõrgemat või haavatud looma, nii tunneb ka meri ära nõrga koha looduses. Sageli on see meie endi tekitatud. Võtame näiteks tormipurustused Narva-Jõesuus. Need on suurel määral põhjustatud liiva vähenenud lisandumisest Narva jõe kaudu, mille me omal ajal hüdrojaama tammiga tõkestasime. Rannanõlval on aga oma kindel kalle ja puuduv liiv võetakse rannalt täieliku omanikuõigusega tagasi. Puhkajatel ja puhkuse korraldajatel on loomulikult raske sellega leppida ja juba on arutatud projekte rannaastangu kaitsmiseks hiiglasliku, kilomeetritepikkuse betoonmüüri. Selline vall oleks väga kallis, nõuaks palju defitsiitset tsementi ja mis kõige hullem, oleks kasutu, sest meri võtaks ikkagi selle, mis talle kuulub.

Betoonist sein pole ju midagi muud kui pankranna nõrgem vend, mis lainemurrule väga lühikest aega vastu peab. Pealegi halvendab see ranna looduslikku seisundit, sest müüriolt tagasipõrkuv tormilaine viib selle esiselt vähesegi sinna veel jäänud liiva merre kaasa. Lõpuks vajub müür ümber ja kogu rand ongi laastatud. Hoopis mõistlikum on kasutada looduslikke kaitsevahendeid, tuues liivarannale tagasi tormiga minema viidud liiva ja kruusarannale kruusa. Laine jõud sumbub setetes ja astangud jäävad puutumata. Otse kuritegu on rannalt rändrahne ära vedada, sest need kaitsevad randa eriti kindlalt.

Viimastel aastakümnetel on tormipurustusi kõigil maailma meredel olnud rohkem kui tavaliselt. Ka Eestit on lisaks 1967. aasta «sajandi tormile» rünnanud tugevad tuuleiilid 1969., 1975., 1978., 1981., 1983. ja 1986. a. Neist esimesed panid rannad põdema, järgnevad aga purustasid juba haiget organismi, mistõttu kahjustused olid eriti suured. Vaevalt oleksid lained eelneva ettevalmistuseta olnud suutelised jõudma kamardunud moreeninõlvani Meriväljal ja ühe ööpäevaga Narva-Jõesuus mitu meetrit astangut kaasa viima, nii nagu see toimus 4. detsembril 1986. aastal. Lohutada võib teadmine, et looduses toimuvad protsessid on kõik tsüklilised ja küllap peagi järgnevad tormirohkele aastakümnetele taas rahuaastad.

*enam vist rahnud ei mäletagi kaljusid,
mille küljest kord murdusid lahti
juba igaviku on nad siin metsa all maganud —
või on igavikki nende ajaarvamises
vaid üürike kadunud silmapilk.*

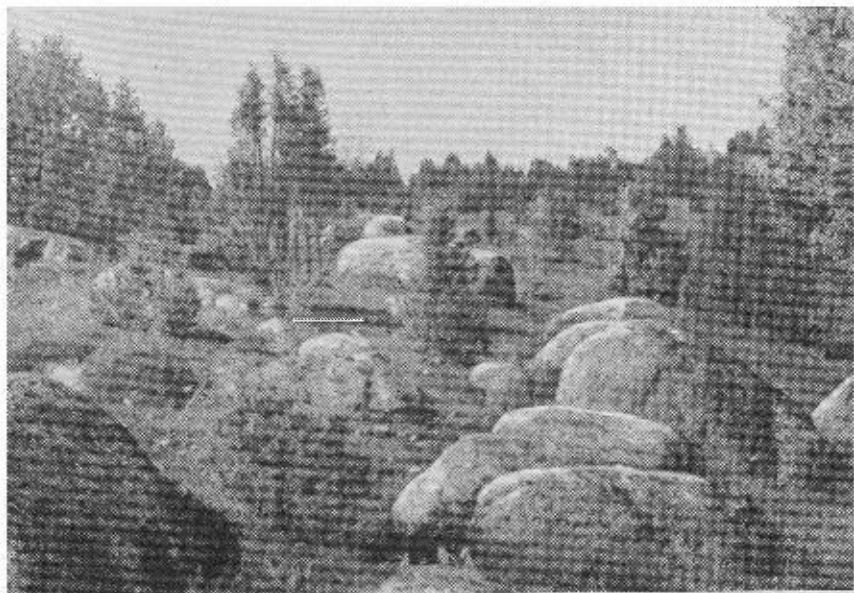
Minni Nurme

Võõrad väed võõral tallermaal

Lained toimivad koorelahutajana, mis setted kuju ja suuruse järgi sorteerib. Randa rünnates ja purustades uhuvad nad esmalt välja aleuriidi ja savi, setitades need kaugele merepõhja. Liiv jääb rannajoone lähedale. Kuni rusikasuurune klibu jääb rannale. Seda materjali järk-järgult piki randa edasi nihutades kasvatavad lained maasääri. Veepiiril seisvatest majesteetlikest rahnudest ei käi lainete jõud aga isegi püsiva pealetungiga üle.

Eesti nüüdisrannal või ka vanal rannikualal ringi liikudes näeme peaaegu kõikjal kive. Kord paiknevad need hõredamalt, kord tihedamalt, teisel otse üksteise kõrval, nii et puud kasvavad lausa kivide vahelt välja. Ei ole neil niigi palju ruumi, et tüved vabalt paisuda saaksid. Kaua aega ei jõutud selgusele, kust ja kuidas need kivid sinna on sattunud. Eespool oli juttu möödunud sajandi driftihüpoteesist, mille kohaselt arvati, et rändkive kandsid laiali vesi ja sellel ujuvad jäämäed. Veelgi varem, 18. sajandil, peeti rändkive hoopis Kuul toimunud vulkaaniliste pursete produktideks või koguni purunenud planeetide kildudeks. Praegu vastab iga ninatark koolijüts: «Selge, mis siin vaielda, need tõi mandrijää!» Suure töö tegi tõesti mandrijää, kuid oma osa jäi ka merejääle, mis jäämineku aegu kahuripauke meenutavate raksatustega murdub ja suurteks mägedeks kuhjub. Rüsijää surub suureldi rahnud moreenist välja ja kuhjab need kivimägedeks, mille peale ka Katku Villu jõud ei hakanud. Õigesti hoiatas teda Katku vanaperemees: «Nagu oleks mõni kurivaim tulnud ja rüpest sinna kive hunnikusse puistanud, nõnda on see mägi. Mina tegin temaga proovi, aga ei minu hammas tema peale hakanud, ja usu, poeg, ka sinu omad ei hakka. Mõtlesin esteks, et kivid on ainult pinnas, kaalusin need välja, põletasin tulega lõhki, vedasin ära, aga ka nende all põlnd muud kui ainult kivid.»

Sellised suured kiviikulvid on alati seotud moreenrannaga. Merest kaugemal — Käsmus, Nõval, Virtsu ümbruses, Lääne-



Joonis 84. Suured kivilüüvid on alati seotud moreeni avamuselaga ja enamasti ka muistse rannajoonega. Kuusalu. Anto Raukase foto.



Joonis 85. Sageli kuhjab merejää kivid hoolimatult hunnikusse. Kaarel Orviku foto.

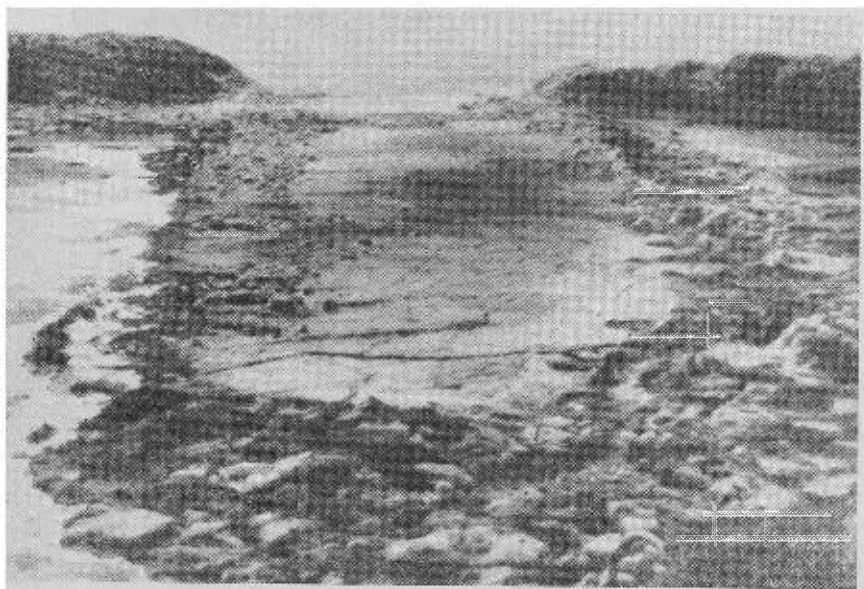
Saaremaa kõrgustikul jm. tähistavad nad vana rannajoont, näidates ilmekalt merejää jõudu (joon. 84).

Kuidas see protsess toimub? Lauge rannanõlva kivid kaane-tuvad jäässe ja kui kevadel jäälagnemise ajal on tugevad mere-tuuled, kantakse jäässe külmunud kivid mägedeks kuhjuva jääga randa. Mõnikord teevad suured hiidrahnudki ööpäeva jooksul mitmekümne meetri pikkusi rännakuid, jättes enda taha siledaks ihutud rännutee. Kui kive on palju, kuhjab jää need hoolimatult hunnikusse (joon. 85).

Kevadine rüüsiää teeb muudki pahandust, murdes maha metsa ja ohustades elamuid, ja mitte üksnes mere-, vaid ka järverannal. Ühest sellisest jääminekust vestis Aare Mäemets «Eesti Looduse» veergudel.

«See juhtus 1967. a. kevadel. Järgmisel päeval pärast kevadist pööripäeva, s. o. 22. märtsil, hakkas seni nii kõvana ja kindlana kalureid ja järveuurijaid kandnud Võrtsjärve jää ootamatult liikuma. Selle päeva hommikul puhus umbes 6-palline edelatuul; lõunaks pöördus tuul loodesse ja tugevnes hooti 10 pallini. Jää, mille paksus oli umbes kolmandik meetrit ja mida oli tugevasti murendanud rohkem kui poolteist kuud kestnud sula, hakkas lõuna paiku ähvardavalt liikuma järve idakalda suunas. Jäämas-sid roomasid kaldast eemale tõmmatud paatideni, mida tuli edasi sikutada 3—4 meetrit jäätasemest kõrgemale. Juba paari tunni pärast oli jää jälle paatide juurde jõudnud ning oli vaja neid üles-poole tõmmata. Kohati ronisid ahned jääkeeled juba 5—6 meetri kõrgusest kaldast üles, kord kuhjates mägesid, kord tagasi varise-des. Jää lükkas halastamatult pikali puid, hõõrus maha jämeda-mate puude koore, tõukas mitmeid meetreid edasi paaritonniseid kivimürakaid, mattis enda alla paate ja purjekaid. Suured jää-massid ähvardasid purustada kaldalähedase lauda, matta kaevu. Limnoloogiajaama sadamasild kadus jäämägede alla. Suure jää-kuhjana valendas järve keskel Tondisaar. Näis, et kohe jõuab jää Limnoloogiajaama akvaariumihooneni ja purustab selle. Tuul puhus äärmise jõuga, sadamasilla juures oli raske seista ja hin-gata. Tormihoog virutas eest ära jaama suured topeltaknad. Jää tegi mitu järsku nõksakut ja kerkis veelgi ligi meetri võrra üles-poole. Akvaariumihoone seinani jäi veel meeter .»

Kuhjadesse lükkunud mere- ja järvejää rikuvad lainetusega rannal loodud korra, toovad liivale kive ja klibuvalle ning uuris-tavad rannanõlvale sügavaid vagusid, mis hiljem ohustavad sup-lejaid isegi näiliselt madalas vees (joon. 86). Põhjani kinnikülmu-nud merejää kleebib enda külge põhjasetteid ja viib need kas randa või ujuvate jääpankadena sellest hoopis eemale, rikkudes peale sulamist avamereelgi setete jaotumuses valitsevat korda. Settematerjali võib merejääle tuua ka tuul, niisamuti võib see



Joonis 86. Kuhjadesse lükkunud merejää rikub rannal lainetusega loodud korra, toob liivale kive ja klibuvalle ning uuristab rannanõlvale sügavaid vagusid, mis ohustavad suplejaid. Kaarel Orviku foto.

lainetusega jäässe tekkinud pragude kaudu põhjast sinna kanduda.

Korralikkujaid on teisigi. Üsna sageli kohtame liivarannal jalutades kive, millel märkame kuivanud mustjaid taimejäänuseid. Vahetult pärast tormi näeme süüdlast ka elusuuruses. Merepõhjas massiliselt vahav põisadru (*Fucus vesiculosus*) hõlbustab kividele kinnitunult nende merest väljapaiskamist. Taime tallusel on vetikate kaalu vähendamiseks õhuga täitunud põietaolised moodustised, mistõttu põisadru põõsakesed on nagu omapärased langevarjud, mis kivi laintevoos hüppeliselt edasi kannavad. Liikumise lõppetapp on kivide paiskumine rannale. Seda on lainetel hoopis lihtsam teha kui kive lähtepaigast, nii 10—15 m sügavuselt, lahti sakutada.

*Liivaluiteilt tõuseb hõre rohi,
laine veereb laine järel randa,
meie ümber laiub merekohin,
hea on tuulel seda lainet kanda.*

Vladimir Beekman

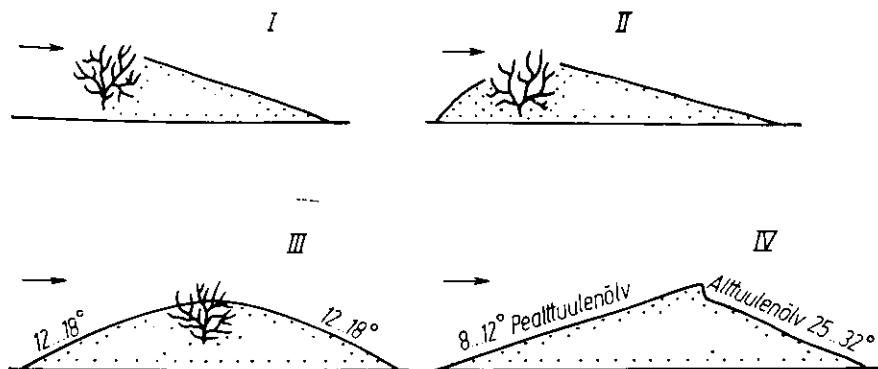
Luited, tuule mängukannid

Merelained kuhjavad kaldale uhutud liiva rannavallideks. Tormilainetusega tekkinud rannavallideni lained vaikse ilmaga ei ulatu. Tuul ja päike kuivatavad liiva kiiresti ning tuul puhub selle kergesti minema. Tekkinud tuiskliiv hakkab kujundama luit-
teid (joon. 87).

Tuiskliiva kannavad edasi ainult tugevad tuuled, mille kiirus on vähemalt 5—8 m/s, nõrgemad kiirendavad märja liiva kuivamist. Kuid tugevaid tuuli meil jätkub. Tuulte maksimaalne kiirus ulatub Eestis 28 m/s, puhanguiti isegi 34—36 m/s. Tuule kiirus 25 m/s on metsale ja ehitistele ohtlik, 30 m/s murrab maha metsa, tõstab kergelt õhku majakatuseid ning purustab nõrgemaid ehitisi. Tuuli kiirusega rohkem kui 25 m/s on Eestis keskmiselt kord



Joonis 87. Tuul ja päike kuivatavad rannal oleva liiva ning tugev tuul kannab selle eelluideteks ja luideteks. Tuuletorm Pirital. Karl Orviku foto.



Joonis 88. Vall-luute kujunemisetapid. I ja II — eoolilised liivakünkad, III — eelluude, IV — vall-luude. Noolega on tähistatud tuule suund.

aastas. Mõned neist (näiteks 1967 a.) haaravad endale mitme aasta «saagi», mõnel küllalt pikal ajavahemikul (näiteks 1960—1965) polnud meil suuri torme üldse.

Pinnamoe kujundajatena ja setete kuhjajana huvitavad meid eeskätt suvekuudele langevad tormid, kuid väga tugevaid torme on sel aastaajal harva. Seepärast teevad peamise töö mitte äärmuslikud, vaid keskmised ja tugevad tormid. Need kannavad liivateri edasi mõne kuni mõnekümne sentimeetri kõrgusel maapinnast. Seetõttu pidurdab iga väiksemgi lendterade ette sattuv takistus nende edasikannet. Nii näemegi, et iga rannaribal kasvav põõsas, kadakaköks või taimepuhmas koondab enda ümber väikese liivakuhiku. Kui taim pole küllalt tihe, kuhjub liiv tema tuulealusele, tuultest varjatud küljele. Peagi kattub kogu põõsas või puuke liivaga, kusjuures kuhik omandab vallitaolise kuju (joon. 88). Selline vallitaoline liivahang on järsu pealttuulenõlvaga, alttuulenõlv laskub lamedamalt. Tuiskliival kasvavad taimed (vareskaer jt.) ei lämbu liiva mõõdukal juurdekandumisel, vaid kasvavad edasi ja sunnivad ka liivahangesid üha kõrgemaks kuhjuma.

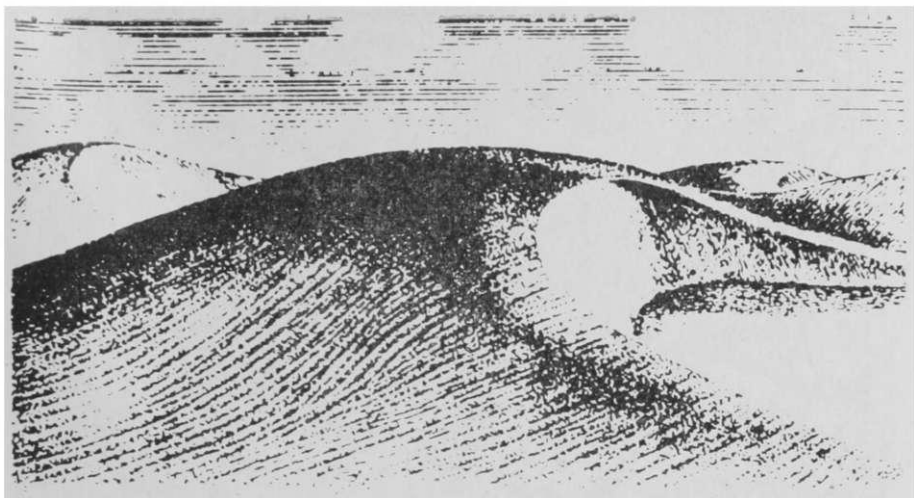
Kuid alati ei ole need mõjutegurid tasakaalus. Kui tuuled kannavad vähe liiva juurde, võivad taimed ohjad enda kätte võtta ning liivahang kattub taimestikuga täielikult. Vastupidisel juhul aga mattuvad taimed sootuks liivasse. Seejuures takistab kuju-
nenud kungas ise liiva edasikandumist, liiv hakkab kuhjuma ka pealttuulenõlva ees, mis muudab hange kuju. Algul omandab



Joonis 89. Tuulevired on üksteisega rööbiti kulgevad madalad, kuni 5 cm kõrgused looklevad liivavallid, mis kohati liituvad, kohati hargnevad. Pilt Kroodi liivikult 1954. aastal. Anto Raukase foto.

pealttuulenõlv alttuulenõlvaga ligikaudu ühesuuruse kallakuse. Samal ajal liivahanged ka laienevad ning võivad omavahel liituda. Nii kujuneb plaazi ülemisele piirile nn. eelluidete ahelik (joon. 79). Edasisel kuhjumisel nihkuvad liivahanged maa suunas ja nende alttuulenõlv muutub pealttuulenõlvast järsemaks. Kujuneb kõige levinum liiva kuhjumise vorm, luide (joon. 88).

Erinevaid luitetüüpe on looduses palju, sest liivavallid võivad asetseda tuule suunaga nii paralleelselt kui ka risti. Tugev tuul kujundab suuri luitelaineid, järgnev nõrgem aga kannab neile peale väiksemaid, mille suund ei pruugi pealaine omaga ühtida. Kõige väiksemad kuhjevormid on tuulevired, mida kohtame nii liivikutel kui ka kinnikasvamata luitenõlvadel. Tuulevired on üksteisega rööbiti kulgevad madalad, kuni 5 cm kõrgused looklevad liivavallid, mis kohati liituvad, kohati hargnevad (joon. 89). Neil on nagu luidetelgi lame pealttuule- ja järsk alttuulenõlv. See on viinud mitmeid uurijaid mõttele, et vired ongi algsed tuiskliiva kuhjevormid, mis hiljem kujunevad luideteks. Uurimisandmed seda ei kinnita. Vired kujunevad vaid nõrga tuulega.



Joonis 90. Kõrbes on valdavaks luitetüübiks barhaanid. Erinevalt Eestis leiduvatest parabool- ehk mõrdluidetest (vt. joonis 91) on nende etteulatuvad «sarved» paigutunud tuule liikumise suunas.

Tugeva tuule korral virede kujunemine lakkab ja algab luitevaldlide rändamine.

Kõrbes on esikohal poolkuutaolised kaarluited ehk barhaanid (joon. 90). Needki tekivad kohtades, kus tuulevoolus kohtab takistust, mille vastu põrgates liiv kuhjub. Osa tuulejugasid põrkub liivakuhjalt tagasi tuulevoolusele vastu ja sunnib selles olevat liiva veidi enne takistust maha langema. Nii tekib liivakuhjatiste ja takistuste vahele süvend. Osa tuulejugasid möödub takistusest mõlemalt poolt ja liiv settib liivakuhjatise keskosast tuule suuna poole. Tekib poolkuukujuline pinnavorm. Atacama kõrbes on barhaane kõrgusega 40 ja laiusuga 200—300 m, need liituvad kümnete kilomeetrite pikkusteks barhaaniahelikeks.

Barhaanid on põikvormid, nende põhitelg on tuulte suunaga risti. Kõrbetes on ka pikiluited — tuule suunas kulgevaid kuni 300 m pikkusi sümmeetrilisi liivaseljakuid, mida eraldavad kitsad nõod. Need luited tekivad püsivasuunaliste tugevate tuulte toimel. Mõnikord põimuvad nad palmikuteks.

Eestis on esikohal nn. vall-luited, kujult niisamuti piklikud, valitsevate tuulte suunas välja venitatud. Ülaltpaates on need ovaalse kujuga. Vall-luidete lame ($5-20^\circ$) pealttuulenõlv on liigestatud väiksemate tuulevormidega, alttuulenõlv on liigestamata ja harilikult varikaldena järsk ($25-40^\circ$). Eestis on vall-luited ena-



Joonis 91. Luidete rändamisel võivad luitevallid ümber kujuneda poolkuutaoliseks parabool- ehk mõrdluideteks. Taimestunud paraboolluide Põhja-Peipsi luistikus. Anto Raukase foto.

masti 70—150 m pikad ja 30—50 m laiad. Harva esinevad luited üksikult. Sagedamini on nad omavahel külgepidi liitunud, moodustades luiteahelikke.

Luited võivad liituda erinevalt, mistõttu igal luiteväljal on oma kordumatu pale. Vall-luited paiknevad ahelikus enam-vähem ühes reas ja enamasti kulissitaoliselt, harvem korrapäratult või hargnevad kahes-kolmes kindlas suunas. Viimased on iseloomulikud aladele, kus tuul on olnud muutliku suunaga. Mere hilisema kulutava tegevuse või luidetealuse reljeefi liigestatuse tõttu esineb ka ebatüüpilise kujuga vall-luiteid. Näiteks Litoriinamere pealetungide ajal kujunenud luiteahelikul Rannametsas Pärnu rannikul on ühtviisi järsk nii mere- (25—45°) kui ka maapoolne (25—30°) nõlv. Arvatavasti on selle põhjustaja luiteaheliku alla mattunud pikioos.

Vall-luited võivad rändamisel ümber kujuneda parabool- ehk mõrdluideteks, mis kujult meenutavad barhaane (joon. 90), kuid neil on etteulatuvad «sarved» suunatud valitsevate tuulte poole (joon. 91). Pealttuulenõlva kalle on neil harilikult 10—20°, alttuulenõlval 20—30°. Paraboolluided kujunevad seetõttu, et vall-



Joonis 92. Järve murrutuse tõttu on luidete pealtpuulenõlv Põhja-Peipsi luitestikust astanguline. Järve madalseisu tõttu on see hästi nähtav. Luitestikust leidub rohkesti ka ärapuhumismärgid ja tuulekraave. Avo Miideli foto.

luidete madalamad ja niiskemad äärealad kinnistuvad taimkatte abil kiiremini kui keskosa, mis jätkab vabalt edasiliikumist ja kujundab kaarja ettepoole nihkunud osa.

Niisuguseid luiteid on näiteks Põhja-Peipsi luitestikust. Minevikus liikusid need aastas edasi 1,5—2,5 m ja kõrgenesid kohati 0,5 m võrra. Teisal seevastu on liivakuhjatised madaldunud, sest luidete kujunemisel toimivad pidevalt kaks vastandlikku protsessi: tuiskliivade kuhjumine ehk akumulatsioon ja tuule purustav ning ärakandev tegevus ehk deflatsioon. Viimane jätkub ka pärast luidete kinnistumist.

Tuule kulutustegevusest tekitatud vormidest on meie luitestikes levinuimad ärapuhumismärgid ja tuulekraavid. Ärapuhumismärgid ehk tuulehauad esinevad valdavalt taimkattega luidetes. Rikutud taimkattega aladel algab liiva edasiliikumine, mis põhjustab järjest uute taimede hävimise. Ärapuhumismärgi avardub järk-järgult, moodustades tuule suunas piklikovaalse liuataolise vao. Sageli on ärapuhumismärgi alttuulenõlv ja üks külgmistest

nõlvadest lame, järsumast pealttuulenõlvast aga saab uuesti kuju-
neva vall-luite pealttuulenõlv

Tuulekraave kohtame sageli Põhja-Peipsi luitestik, kus luite-
aheliku pealttuulenõlv on järve murrutuse tõttu astanguline
(joon. 92). Et pealttuulenõlva kõrvetab seal lõunakaartepäike, on
taimestik kidur ja liiva ärakanne eriti intensiivne. Tugevad edela-
ja lõnatsuuled uuristavad risti luiteahelikule sügavaid kraave,
millest väljapuhutud liiv kuhjub hangedena rannast kaugema
luiteaheliku alttuulenõlvale. Selliseid tuuleorundi varjus kuhju-
nud vorme nimetatakse kaldluideteks. Et kaldluide lamab vanema
luite alttuulenõlval, võib tal pealttuulenõlv täiesti puududa.

Luidete taimkate on kidur ja liigivaene. Liiva väljauhtevöö
on peaaegu taimkatteta. Veepiiri lähedal kohtab sellel vaid üksi-
kuid vetikakooslusi, kaugemal lisanduvad randmalts, kirburohi,
merisinip jt. Ärapuhumisalal kasvavad peale nimetatute veel
merihumur, rand-orashein, liivaruhein jt. Eelluidetel ja lahtistel
luidetel valitsevad kõrgekasvulised kõrrelised, nagu luidekaer,
vareskaer ja jäneskastik. Kinnistunud luidetel lisanduvad sambli-
kud, nurmnelk, nõmm-liivatee, hobumadar, harilik kukehari jt.,
mis lahtiste luidete taimeliigid kõrvale tõrjuvad. Luitemetsade
valitsejad on männid (joon. 91), mille läheduses kinnitavad kanda
ka kadakas, kibuvits, mage sõstar ja kuslapuu. Metsade rohu-
ja samblarindes leidub põdrasamblikke, palusammalt, koerakan-
nikest, punast aruheina, hobu- ja värvmadarat, nõmmnelki, hari-
likku kukeharja ja mitmeid teisi kuivalembeseid metsataimi.

Eesti luidete koostismaterjal on peamiselt peene- ja keskmise-
teraline liiv. Jämedat liiva ja kruusa on luidetes enamasti alla
5%, aleuriiti — alla 1% ning ainult üksikjuhtudel ulatub nime-
tatud fraktsioonide hulk 20—30 protsendini. Luiteliivad koosne-
vad valdavalt kvartsist ja päevakividest, millele Põhja-Eestis ja
läänesaartel paesest aluspõhjast ja karbonaadirikast moreenist
lisandub kohati rohkesti karbonaate (2—25%).

Meie luited on võrdlemisi madalad (tavaliselt 5—15 m) ning
nende pindalalinegi levik on suhteliselt piiratud. Madal meri ja
liigestatud rannajoon ei loo eeldusi liivarohketeks settevooludeks
ning suhteliselt lühikesed, veevaesed ja aeglase vooluga jõed,
mille tee kulgeb enamasti raskesti uuristuvates kivimites, toovad
napilt liiva kaasa. Selletõttu ei ole tuulel rannalt suurt midagi
kokku kuhjata. Märgatavamaid liivakoguseid on kuhjunud Narva,
Valgejõe, Pirit ja Vääna jõe suudmesse.

Jahe ja niiske mereline kliima ning tugevate tuulte esinemine
liiva edasikandumiseks ebasoodsatel sügis- ja talvekuudel on põh-
justanud suhteliselt väikeste luidete kiire kinnistumise ning liiva
rände peatumise. Ebasoodsalt mõjub tuulesetete kuhjumisele ka
meie maa-ala pidev tektooniline kerkimine, mille tulemusel ranna-

joon kiiresti nihkub mere suunas ja alles kujunema hakkavad luit-
ted kaotavad toitealaga ühenduse.

Erandiks olid ajalõigud Läänemere ajutiste pealetungide ajal, mille lõppfaasis rannajoon püsis suhteliselt pikka aega enam-vähem ühel kõrgusel, luues soodsamad tingimused suuremate luidete tekkimiseks. Pealegi kandis pealetungiv meri settematerjali pidevalt ranna suunas. Hiljem, rannajoone stabiliseerudes, sai setetest püsiv tuiskliiva allikas. Balti paisjärve, Antsülusjärve ja Litoriinamere pealetungifaaside rannajoonega ongi seotud kõik Eesti suuremad luited: Antsülusjärve vanusega luited Sõrve, Kõpu ja Tõstamaa poolsaarel, Lääne-Saaremaa kõrgustikul ja Hääde-meeste ümbruses, Litoriinamere luited Sininõmmel, Rannametsas, Hara ja Tõstamaa poolsaarel jm. Rohkesti madalaid, elluüte stadiumis liivakünkaid esineb piki tänapäevast mererannikut (Klooga, Väana, Keibu jt.). Kohati murrutab meri vanemaid luit-
teid, nagu näiteks Järvel, Saaremaa lõunarannikul.

Läbi aegade on tuiskliivad ohustanud põlde ja asulaid. 17. sajandi lõpul ähvardasid rändluided Saaremaal Kärla kirikut, kirikumõisa ja ümbruskonna talusid. Veel sajandivahetusel oli liiva edasikanne Ristna tuletorni juures nii tugev, et pärast igat edelatormi tulnud maja- ja kuuriuste lahtisaamiseks mitu päeva hobustega liiva ära vedada. Ka Peipsi järve põhjakaldal olevat majad mõnikord tuiskliiva alla jäänud. 1875. aastal kirjutati «Oleviku» lisas, et järve ääres Pedaspää külas «tuiskab tuul suured liiva hanged kokku, nõnda et kõik katused liivaga kaetud ning mõne aastaga ära auuduvad ja mädanevad...». Akadeemik Gregor Helmersen kurtis 1864. aastal, et kõikjal, kus Peipsi ääres levivad liivaluited, matavad nad järveäärseid põlde ja aedu enda alla ning ummistavad jõgede suudmeid. 1860. aastal olnud Pungerja jõe suue niivõrd ummistunud, et palgiparved ei pääsenud läbi ning palgid tuli üle luidete järve veeretada.

Nüüdisajaks on meil lahtise liivaga luitelid vähe alles jäänud: Kaibaldi, Odalätsi ja veel mõned teised, kus tuli on luitemännikust üle käinud või maapind masinatega segi pööratud. Lahtise liivaga lapikesed on väikesed ja on otse kahju, kui need minikõrbed taas kinni kasvavad. Kui armetuks on näiteks jäänud Lutepää liivik Värskas lähedal, kus varem ratsahobuste vägi ja karjatamine liivad alatasa liikvel hoidsid ja meilgi oma «kõrbest» kõnelda lubasid!

Kuumal suvepäeval oli rändur seal nagu hiigelpannil. Ülalt põletas ja pimestas päike, alt kõrvetas liiv. Isegi kivid ei pidanud vastu, nende päeval kuumenenud pinda tekkisid vihmavalingu või öise kiire jahtumise tõttu lõhed ja lõhekesed ning peagi jäi endise kivihiu aset märkima kobe koonusjas kruusahunnik. Hiljem tasandus seegi. Mitmed sealsed kivid on praegugi kaetud

läikiva musta «kõrbelakiga». Selline manganrauast koosnev laki-kirme tekib bakterite kaasabil palavate päikesekiirte mõjul. Kohati leidub päikese ja tuulte loodud kivikärgesid, kust tuul nõrgemad osised on välja uuristanud. Kõrbemiljööst kõnelesid ka rohked tuulevired, väikesed luiteahelikud ja ärapuhumisnõod. Liiva ärakandest kõneleb eriti ilmekalt rahnude ümbrus, kus liiva-pind ligikaudu poole meetri raadiuses on 20—30 cm võrra ümbrusest madalam.

Veel parkümmend aastat tagasi sai täit kõrbemeeleolu tunda ka Tallinna lähistel olnud Kroodi liivikul (joon. 89), kus tugeva tuulega liiv ei veerenud ega hüpanud mööda maapinda, nagu meil tavaline, vaid kihutas horisontaalselt õhus, maad puudutamata, peksis nii tugevasti vastu jalasääri, et naised valu pärast kiljusid, torkis nägu ja tungis silmadesse, krigises hamba all ja jõudis kinnistesse taskutessegi.

Luidete ja liivikute kinnistamine ja metsastamine on vaevarikas ja üsna kallis töö. Esmalt rajatakse luite pealtnuulenõlvale ja harjale hagudest põimitud tarad, milleks 1—1,5 m kõrguste liivasse taotud vaiade vahele põimitakse hagu. Ruudukujuliselt paigutatud tarad mattuvad peagi liivasse ja mõnikord tuleb sama tegevust korrata. Lõpuks jääb inimese visadus peale ja liiva liikumine peatatakse. Nüüd asutakse pinnase püsivamale kinnistamisele rohttaimestikuga, milleks kasutatakse liivtarna, luide- või vareskaera. Viimase etapina rajatakse püsiv metsakultuur, milleks esialgu on sobiv vähenõudlik mägimänd, hiljem harilik mänd. Paremate niiskustingimustega madalamaid luitevälju on Eestis edukalt kinnistatud ka sanglepaga, näiteks Luidja rannikul Hiiumaal. Vanasti tuisanud sealt teele nii palju liiva, et kuiva tuulise ilmaga polevat mõnikord vankriga läbigi pääsenud.

Metsastamise hõlbustamiseks kasutatakse Saksa DV-s jm. viimasel ajal edukalt mitmesuguseid väetisainetega rikastatud immutusvedelikke, mis liivaterad omavahel kokku liidavad ja liivärände peatavad.

*Elada illusioonides,
on see hea või halb?
Elada illusioonideta,
on see hea või halb?*

Heino Kiik

Tuulest viidud

Eespool oli juttu ka tuule kulutavast toimest. Eriti mõjuvõimas on see taimestikuta või kidura taimkattega kõrbelistel ja poolkõrbelistel aladel. Tuul kannab kuivast kivimurendist välja peeni osakesi, mis tuulesülemis lõhuvad ja kulutavad maapinda ning nagu raspliga ihuvad kõige kõvemaideki kivimeid. Et maapinnalähedane õhukiht sisaldab liiva rohkem, siis kuluvad kaljude jalamid kiiremini, moodustuvad fantastiliste kontuuridega seenkaljud ja koobastikud. Tuuleihe ehk korrasioon töötab alati käsikäes tuulekande ehk deflatsiooniga. Eriti suur on see kohtades, kus esineb tuulekeeriseid.

1986. aastal võisime ajalehest «Rahva Hää» lugeda Anatoli Ivaštšenko jutustust «Maamuld». Selles meenutati Ukraina legendi: kui esimest korda maad küntud, voolanud vagudes veri. Kõigekõrgem, kes taevastes avarustes mulla kaebeid kuulnud, olevat öelnud: «Kannata, sest see on sinule osaks antud.»

Lõputult kannatada pole võimalik. A. Ivaštšenko esitatud statistika kohaselt oli Stavropoli steppides aastail 1871—1895 kõigest 4 tolmutormi. Küntud maa osakaal ulatus sellal 15—30%-ni. Nii-sama pika ajavahemiku vältel (1896—1920) künti üles veel 10%, ja tolmutuulispask määrses juba kuuel korral. Järgmise 24 aastaga (1921—1945) suurenes küntud stepi pindala veel kõigest 5% võrra, aga tormide arv kasvas seitsmele. Aastatel 1946—1970 võimutses ader juba 70 protsendil künnikõlblikust pinnast. Ja tasu? 14 tolmutormi. 1969. a. sai seal täielikult hukka 758 000 hektarit talivilja, deflatsioon ehk tuulekanne tabas ligi 2 miljonit ha. Uus löök tuli juba järgmisel aastal. Torm pühkis lagedaks 300 000 ha. Paljudes kohtades kanti ära kogu künnikiht. Aluspõhjani, savini välja!

Kõrbed ja poolkõrbed võtavad praegu enda alla 53,3 miljonit km², üle ühe kolmandiku maakera maismaapinnast. Igas minutil neelavad nad juurde 44 ha viljakat maad, aga seda viimast on inimkonna kasutada vaid kümnendik kogu maismaast.

Tuulekanne oli aastasadu Eestimaal peaaegu tundmata nuhtlus. Põllutükkide suurust mõõdeti vakamaades ja üksnes suure-

mad põllud küündisid hektaritesse. Veel kümmekond aastat tagasi oli meie vabariigi põllutükkide keskmine suurus napilt üle 5 ha. Sellistel mosaiiksetel puuderibade ja metsadega ääristatud põllumaadel ei pääsenud tuul kurja tegema. Eestimaa põldudele tulnud uued võimsad traktorid nõudsid aga suuremaid korrapärase kujuga ja sisetakistusteta põlde. Maaparandajad asusid lähendama kantsleilaua taga antud ülesannet viia põldude suurus 100 ja rohkema hektarini. Ebameeldivad tulemused olid varsti käes. Suurtelt, lagedatelt, kergete muldadega maaparandusobjektidelt, eeskätt liiv- ja turvasmuldadelt, hakkas tuul huumuskihti ja viljaseemetki minema kandma. Ärakantava kuiva mulla hulk küündis 15—20 tonnini hektarilt, kusjuures lubatav piirväärtus NSV Liidu mustmullaaladel on 0,5 t/ha aastas.

Tuulekanne algab meie tärkamata orasega põldudel, kui tuul ületab 5 m/s, tolmlüüaaladel pole ilmselt sellistki kiirust vaja. Selles võib veenduda igaüks, kes Tallinnast mööda Paldiski maanteed kohvik «Merepiigani» sõidab. Sealsel Litoriinamere terrasile rajatud põllul näeb liivalendu juba üsna väikese (3—4 m/s) tuule korral. Kui tuule kiirus ulatub 15 m/s, kantakse muld minema pinnatuisuna, mis liivavälja suitsema lööb ning peened terad hamba all ragisema paneb. Kui tuulelõõts veel suurema hoo saab, tõusevad vonklevad tolmukeerised 30—40 m kõrgusele ning põld ongi viljaseemnest puhas.

Kuigi suured, terveid rajoone haaravad tolmutormid on Eestis tundmata, on tuul siiski põllumajandusele tõsiselt kahju teinud. Kokku on tugevasti tuulekandeohtlikke maid meil kuni paarsada tuhat hektarit. Mõnes piirkonnas on neid eriti rohkesti, näiteks Hiiumaal ligikaudu $\frac{2}{3}$ kogu haritavast maast.

Tuuleohust on nii looduskaitstjad kui ka maaparandajad aru saanud, sest nüüd ei ületa rajatavate uudisväljade suurus tasan-dikel 50—60 ha ja kõrgustikel 20—30 ha. Tuulekaitseks rajatakse metsariibid, õrnadele turvasmuldadele aga kavandatakse pika-ajalised rohujaad. Põllumees saab suuremat saaki ja võidab ka ilumeel.

*Liiv laulab luidetel.
Lainete kanda
jääb helkivaid päikeseteri.
Nii koduselt kokku on juhtunud randa
mets — madalad männid — ja meri.*

Arno Vihalemm

Helisevad liivad

Usutavasti on paljud tormiga liivarannal seistes kuulnud tuuleiilide mühaga segunenud liivaterade laulu, kui need läbi põõsa- või puulehtede vihisevad või vastu rannakive põrkuvad. Kuid luiteliivad võivad laulda ka ilma tormita. Eriti kuulsad on selle poolest kõrbeliivad, mis öösel või õhtul hilja, pärast päikeseloojangut kaeblikult häälitsema hakkavad. Vahel meenutavad need hääled viiulimängu, teinekord harfiheliseid, vahel astub aga lavale terve orkester, milles ei puudu isegi suur trumm, kui päikese lõõmas kuumenenud kaljud öökülmas lõhkevad.

Üht liiva helisemist Sahara kõrbes kirjeldas andekas vene maadeuurija A. Jelisseev: «Kuid siis kuuldusid kuumas õhus mingid võluvad helid, kaunis kõrged, laulvad, teataval määral harmoonilised, tugeva metalse varjundiga; nad kostsid kõikjal, nagu tekitaksid neid kõrbe nähtamatud vaimud. Ma võpatasin tahtmatult ja vaatasin ringi. Kõrb oli endiselt tühi, kuid helid lendlesid ja sulasid hõõguvas atmosfääris, tekkides kuskil ülal ja kadudes nagu maasse. Kord rõõmsad, kord kaeblevad, kord teravad ja karjuvad, kord õrnad ja meloodilised, tundusid nad elusolendi kõnelusena, mitte aga surnud kõrbe helidena. Ei mingid muistsete inimeste müüdid pole suutnud välja mõelda midagi rabavamalt ja imelisemat kui need salapärase liiva laulud...»

Laulvate liivade kohta on loodud palju legende, mis enamasti on seotud surnute hingede rändamise ja pahade vaimudega. Hoolimata kaunistest viisidest tekitavad nad eurooplasestki kõrberänduris õudust ja ebameeldivaid assotsiatsioone.

Luite- ja rannaliivad laulavad ka Eestis, eriti kui kõndida mööda liiva veidi lohiseval sammul. Ometi pole paljud seda loodusmuusikat kuulnud. Liivad ei laula nimelt kõikjal ja alati. Vajalik eeldus on, et liiva pealmine kiht oleks kuiv ja niiskuse astmelt allolevast kihist selgelt erinev. Tugevamini laulavad võrdterised ja ümarja kujuga kvartslivid. Laulu otsingul on soovitatav randa või luidetele minna kuumal päeval pärast vihmaadu, mil

ülemine liivakiht on päikese käes juba kuivada jõudnud. Helina tekkepõhjus pole veel lõplikult selge. Osa uurijaid seostab seda liivaterade vahel olevate gaaside vibreerimisega terakestevahe- lise ruumi muutumisel, teised liivaterade massilise vastastikuse hõõrdumisega, kolmandad magneesiumoksiidi ja rauaoksiidide kilega liivaosakeste pinnal. Välistatud pole ka kvartsi piesoelekt- riliste omaduste mõju. Nõukogude uurija J. Rožko tõestas katse- liselt, et liivasid võib elektrofoormasinaga elektriseerides laulma panna. See sunnibki arvama, et kõige tõenäolisemalt on liivade laulmine seotud looduslike elektrinähtustega.

Eestis esineb laulvaid liivu sageli Põhja-Peipsi luitestikus ja rannal, kuid neid võib kohata ka Klooga-Rannas, Vääna-Jõesuus, Pärnu lahe ääres ja mujal. Ka Laulasmaa on oma nime saanud laulvatest liivadest. Kes ei usu, see mingi ja veendugu ise! Kord on helid tugevamad, kord nõrgemad, ja mida kauem me neid otsime, seda viisirikkamaid palu me kuuleme.

*Geograafiaraamatud on kõiki-
dest raamatutest kõige väärtusli-
kumad. Nad ei vanane kunagi.
Seda juhtub väga harva, kui mõni
mägi oma kohta muudab. Juhtub
väga harva, et mõni ookean veest
tühjaks jookseb.*

Antoine de Saint-Exupéry

Tuhande järve maa

Pealkiri ei valeta, Eestis on tõepoolest üle 1500 järvelise vee-
kogu ja ligikaudu 20 000 rabalaugast. Enam-vähem tõelise järve
mõõtmed (pindalaga üle 1 ha) on siiski ainult veidi rohkem kui
tuhandel (l. Kase «Eesti järvede nimestiku» kohaselt on Eestis
1148 järve). Koos tehisveekogudega hõlmavad need 2115 km²
ehk 4,74% Eesti territooriumist.

On seda palju või vähe? Pigem vähe, sest väikejärvedele lan-
geb järvede kogupindalast kõigest 8,5% ehk 176 km², kolmvee-
rand (75,8%) kuulub aga Peipsi Eesti NSV-sse jäävale osale
(1570 km²). Isegi Leedus (üle 3000 järve) ja Lätis (ligikaudu 5000
järve) on järvi Eestiga võrreldes märksa rohkem, kõnelemata
Soomest (umbes 60 000 järve ja 8% territooriumist) ja Rootsist
(üle 100 000 ja 8,9%). Ka naaberblastid Leningradi (8588 järve
ja 10,4% territooriumist) ja Pihkva (3710 järve ja umbes 6% ter-
ritooriumist) on meist järvederohkemad. Ja kui võrdluseks lisame
NSV Liidu järvede koguarvu, rohkem kui 2,8 miljonit, siis näeme,
et järvede kui maastikuelemendiga ei maksa meil küll eriti hoo-
belda. Tõsi, meil on ainulaadne meteoriidse päritoluga Kaali järv
ja Euroopa üks suurimaid — Peipsi järv, kuid püüdkem siingi
olla erapooletud! Esimene neist on lomp, teisest aga kuulub val-
dav osa Pihkva oblastisse.

Järved ei ole püsivad. Nad tekivad, alluvad muutustele ja
kaovad mõnikord vähem kui inimpõlve jooksul. Alles käesoleval
sajandil eraldus merest näiteks Saaremõisa järv Haapsalu rajoo-
nis. Suuri muutusi on läbi elanud ka Antsülsustaadiumil kuju-
nenud Maardu järv Tallinna lähistel. Möödunud sajandi lõpul
kaevati kohaliku mõisniku soovil järvest välja kraav, kuid töid
tehti nii ettevaatamatult, et veevoog murdis läbi järve ülespaisu-
tanud põiksääre setted ja tungis merre. Järv paisutati uuesti üles
seoses Maardu fosforiidikombinaadi ehitamisega.

Eesti järved on enamasti väikesed, suurusega kuni 3 ha. Suuri, üle 100-ha järvi on koos Paunküla veehoidlaga 42, meie oludes väga suuri kõigest 3 (Peipsi, Võrtsjärv ja Narva veehoidla).

Meil on nii järverikkaid kui ka järvevaeseid alasid. Kõige rikkam on Kurtina mõhnastik, kus ligikaudu 50 ruutkilomeetrile on koondunud 38 järve. Järvi on tihedalt veel Aegviidu laantes, Vooremaal, Otepää ja Haanja kõrgustikul ning Karula kuplistikus. Eriti vähe järvi on Pandivere kõrgustikul ning mitmes paigas Lääne- ja Kesk-Eestis (näiteks Märjamaa ümbruses).

Eesti järved on madalad, ligikaudu kolmveerand alla 10 m ja pooled alla 5 m. Üle 15 m küünib vaid 46 järve sügavus. Esi-koht kuulub Rõuge Suurjärvele, mille sügavuseks praegu loetakse 38,0 m, kuigi M. zur Mühlen sai 1907. aastal 41 m. Järgnevad Väike-Palkna — 33,9 m, Udsu — 30,2 m ja Tsolgo Mustjärv — 29,7 m. Ka siin jääme oma lõunanaabritele selgelt alla. Läti rekord on 65,1 m, Leedul aga 60,5 m. Hoopis kaugel ees on meist Rootsi (486 m) ja Soome (102 m).

Liustikulise tekkega Kõrg-Eesti järved on Madal-Eesti järvedest märksa sügavamad. Viimased on valdavalt maapinna tõusu tõttu merest eraldunud rannajärved, millest ainult Saaremaal asetseva Karujärve (5,5 m) ja Harju rajoonis asetseva Järveotsa järve (6,3 m) sügavus ületab 5 m piiri. Peipsi suurim sügavus on 15,3 m (varasematel andmetel 17,6 m).

Järve sügavuse määramine on riskantne ettevõtmine, sest veekogu mineraalse põhja ja puhta veekihi vahele jääb sageli mudane hõljum, mis olude sunnil arvatakse veekihi paksuse hulka. Kuigi mitmetes riikides järvede sügavuse määramiseks juba aastakümneid kasutatakse moodsaid hüdroakustilisi seadmeid, mõõdetakse Eesti NSV-s järvede sügavust endiselt ebatäpse käsiloega, mille massist (kokkuleppeliselt 2,5 kg) ja põhja ristlõikestki (7 cm) ei peeta alati kinni. Üle paadi serva heidetud lood tungib järvemudasse iga kord eri sügavusele. Selles veendusin ise, kui me 1954. a. I kursuse geodeesia välipraktika ajal dotsent L. Vassiljevi juhendamisel Vasula järve mõõdistasime. Järve sügavaima koha leidsime kiiresti üles, usaldusväärset maksimumsügavust aga ei saanudki. Ja ega need moodsadki seadmed imet suuda teha, sest hõljumi ehk lendmuda enda mõiste on ebamäärane ja paksus kiiresti muutuv.

Aare Mäemets peab vajalikuks järvede kolme sügavuse määramist. Need oleksid puhta vee kihti haarav hüdroloogiline sügavus, puhast vett ja lendmuda hõlmav limnoloogiline sügavus ja geoloogiline ehk järvenõo sügavus. Igaüks neist eeldab erinevat mõõtmistehnikat ja on lähematel aastakümnetel vaevalt realiseeritav



Joonis 93. Eesti järved on sageli jääajast pärinevate irdjääpankade asemed. N eeruti Teagajärv. Ago Aaloe foto.

Selleks «et sünniks järv», kirjutas Ilmar Kask, «on tarvis maa-värisemist, meteoriidi langemist, jääaega või vähemalt mõnda natuke vähem markantset sündmust. Et sünniks järv, kulub mitu aastat, mitukümmend aastat, mitusada aastat või mitu tuhat aastat. Et sünniks järv, kulub hulga vaeva, kuni ükskord täpselt teada saadakse, mis on järv, ja kõik järved üles leitakse.»

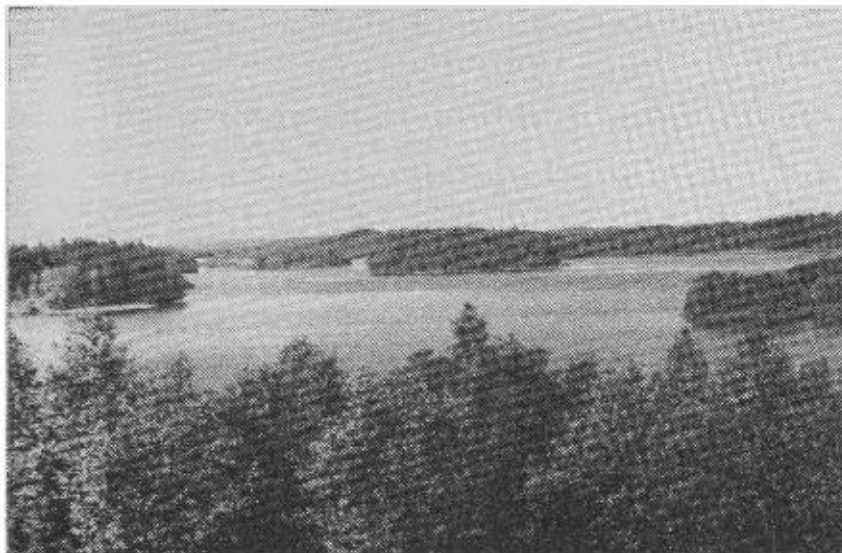
Enamik meie järvenõgudest on mandrijäätekkelised (joon. 93): mandrijää kulutusnõod (näit. vooremaastiku järved), sulanud jää-pankade asemed (järved mõhnastikes, oositikes ja künklikus reljeefis) või jääpaisjärvede jäänukid. Võimalik, et osa (näit. mõned Paunküla ja Aegviidu ümbruse järved) on ka liustikuservalt langenud koskede sünnitatud. Selliseid põhjamaadel sageli esinevaid veekeeristes uuristunud järvi kutsutakse evorsioonilisteks.

Teine suur ja Eestile eriti iseloomulik rühm on rannajärved. Eesti NSV järvede nimestikus on neid sadakond. Vara- ja Keskholotseenis oli rannajärvi palju rohkem ja nende pindala suurem. Ligikaudsete hinnangute alusel on Läänemere holotseensel rannaterrassidel kolmveerand varasemaist järvedest täiesti kinni kasvanud.

Kõige ulatuslikum oli vanade järvede levik Litoriinamere terrassil, umbes 45 000 ha. Sellest ligikaudu $\frac{1}{3}$ langeb Helgi Kesseli arvestuste kohaselt Kirde- ja Edela-Eesti suurte laguunjärvede arvele. Et Linneamere terrass on suhteliselt kitsas, oli rannajärvi sellel vaid 16 tuhande ha suurusel alal. Veelgi väiksem on teadaolevate kinnikasvanud Antsülsjärve laguunide ja rannajärvede levikuala, umbes 11 000 ha. Joldiamere terrass on looduses vaid osaliselt jälgitav ja selle piires esinenud rannajärvi ning laguune teame vaid üksikuid, nende seas näiteks 250 ha suurust endist laguuni Tallinna lähedal. Balti paisjärve taandumisalal levisid järved umbes 8000 ha suurusel alal.

Hilisholotseeni alguseks oli suur osa vanemaid rannajärvi juba kinni kasvanud. Seda põhjustas peale maatõusuga kaasneva veepinna alanemise ka orgaaniliste ainete settimine. Kinnikasvamine toimus järve arengu algstaadiumis aeglaselt, hiljem kiirenes. Väiksemad rannajärved soostusid umbes 500 a. jooksul (näit. Velise Antsülsstaadiumi laguunis ning Niitvälja ja Klooga Litoriinastaadiumi laguunides). Suuremate, üle 200-ha veekogude kinnikasvamine kestis 2000—3000 aastat (näit. Kolgal ja Lümandal). Suurimad Antsülsstaadiumi rannajärved Ermistu ja Tõhela ei ole tänaseni jõudnud kinni kasvada, kuid nemadki on juba raugaeas.

Eesti rannajärved on ja olid ka varem üldiselt väga väikesed ja madalad. Nende pindala oli enamasti 100—200 ha, harva üle 1000 ha. Erandiks olid tasandikuliste rannikupiirkondade suured laguunid ja neist moodustunud rannajärved, nagu näiteks Mari-



Joonis 94. Paljud Eesti järved, sealhulgas ka kaunis ja saarterohke Pühajärv, paiknevad jääajaeelsete orgude kohal. Anto Raukase foto.

metsa, Ermistu-Tõhela, Narva vana lahe ja Tolkuse, ning nüüdisjärved Kingissepa lähedal. Nende pindala on 4000—6000 ha.

Rannaterrasside järved on tekkelt erilaadsed. Osa neist (Rae, Väana, Tõlinõmme, Änglema, Niibi) kujunes jäänukjärvedena aluspõhja, teised (Rummu, Saku, Vaharu, Saaremaa Karujärv) liustikutekkelise reljeefi äravooluta või vähese äravooluga nõgudes. Mõned rannajärved kujunesid esialgu küll liustiku kuhjatud settevallide taha (näit. Kunda vana järv, Veskijärv jt.), kuid mere mõjustusest ei jäänud nemadki ilma.

Kõige tüüpilisemad rannajärved on siiski merest Läänemere kuhjevormidega eraldunud veekogud, mille tekkele on eelnenud laguunifaas (joon. 80, *E* ja *F*). Laguunide sügavus oli harilikult alla 10 m, sageli isegi vähem kui 5 m, neil oli piki rannajoont välja venitatud nõrgalt liigestatud ovaalne kuju (näit. Jõelähtme ja Kääsla), harvem ümmargune (Kahala ja Siplase). Laguune merega ühendav kitsas väin asetses enamasti veekogu ühes otsas (Kääsla), harvem mujal (Siplase ja Merivälja). Ühenduskohti avamerega võis pikkade ja kitsaste laguunide puhul olla ka mitu (Kuijõe ja Pelisoo). Joldia-, Litoriina- ja Limneamere laguunid olid riimveelised (soolsus kuni 15‰), Antsülusjärve ja Balti pais-

järve laguunid aga magedaveelised. Jõgede, ojade, allikate ja kevadiste sulamisvete sissevoolu ning laguunide merest järkjärgulise eraldumise tõttu nende vesi magestus.

Hiljuti eraldunud rannajärved on praegugi veel ajuti merega seotud (näit. Mullutu-Suurlaht) ning seetõttu nõrgalt riimveelised.

Eriti sügavad ja kaunid (Rõuge järved, Viljandi järv jt.) on orundijärved, mis paiknevad kas jääajaeelsetes vagumustes (joon. 94) või siis liustiku sulamisvee uuristatud orgudes. Nende nõod võivad olla erosioonilised ehk uuristuslikud (näit. Jõksi järv), evorsioonilised ehk liustikukoskede kujundatud (võib-olla Rõuge järved) ja sõllitekkelised (näit. Tsolgo Mustjärv), tähistamas sulanud jääpankade asemeid. Paljud orundijärved (näit. Päidre järv Sakala kõrgustikul) on tekkinud hilisjääajal orgudes ülespaisutunud suurematest jääpaisjärvedest. Varem oli orgudes järvi rohkem. Näiteks oli Valgejõe orus ridamisi kolm järve — Porkuni, Järvajõe ja Tapa, millest praeguseni on säilinud esimene, teised kaks jooksid atlantilisel kliimaperioodil tühjaks. Sagedamini jäävad sellised järved aga veetaseme alanemise tõttu lihtsalt kuivaks ja kaovad kaardipildist.

Rohkesti leidub Eestis raba- ja laugasjärvi. Paljud neist pärinevad kaugest Litorinamere ajast, millal Eesti sood siirdusid rabafaasi. Veerežiimi halvenedes kasvavad laukad kinni, kuid olude paranedes tekib uusi juurde. Peale bioloogilise algpõhjustega sootekkeliste ehk telmatogeensete järvede esineb rabades jäänukjärvi (näit. Nigula), mille piire pealetungiv raba ahendab. Võib ka nii juhtuda, et rabaturvas läheb põlema ja põletab soosse augu, kuhu hiljem vesi sisse voolab. Selliste pürogeensete nõgude teke on Eestis tõestamata, kirjanduses on mitme rabajärve (Preeksa soojärv, Suur-Nigula järve lahesopid jt.) põlemistekkest siiski juttu olnud.

Et Eesti jõeorud on väikesed, pole lammijärvede hulk nime-tamistväärne. Suur-Emajõe orus on loendatud üle saja lammiveekogu, millest rohkem kui 70 sisaldavad vett igal aastaajal. «Vana-jõgesid» ehk soote leidub ka mujal, näiteks Piusa orus.

Üsna selgusetu on meil karstijärvede arv. Jääajaeelseks karstinõoks on peetud Kahala järve nõgu, kuid järv ise on tekelt tüüpiline rannajärv. Hoopis rohkem võib karstijärvedeks lugeda Heinjärve, Savalduma, Võhmatu, Piisupi, Lemküla, Saltsi jt. väikesi järvikuid ning maa-aluste jõgede kohal asetsevates langatuslehtrites (Uhaku Pikkhaud jt.) kujunenud veekogusid. Niisamuti võib tinglikult karstijärveks pidada Äntu Sinijärve, mille areng on tihedalt seotud aluspõhjalisse vagumusse avanemise suurte karstialikatega. Karstijärvekesed on vallatud, nad võivad pärast aastatepikkust vaheaega ootamatult taas ilmuda ja seejärel uuesti kaduda. Mõnedes Pandivere kõrgustiku karstijär-

vedes kaob vesi lume sulamise järel ja ilmub mõne nädala pärast tagasi, püsides kesksuveni või isegi lume tulekuni.

Mõnikord püütakse Eesti järvesid lugeda ka tektoonilisteks. Näiteks loevad V Issatsenkov ja E. Rähni tektooniliseks Peipsi nõgu. See ei ole õige. Peipsi ja ka Võrtsjärv on tüüpilised liustikukünde nõod, vähemal või rohkemal määral osaleb tektoonika aga kõigi meie järvede kujunemises.

Järvesetetes eristatakse kalda- ja põhjasetteid. Kaldasetted väikejärvedes puuduvad või esinevad väga piiratud, sest laine- tuse mõju kaldale on väikeste mõõtmete tõttu väga nõrk. Aleu- riiti, liiva, kruusa ja veeristikku on settinud suurte veekogude, Peipsi ja Võrtsjärve kallastel (randadel). Savi, aleuriit, liiv, järve- lubi ja järvemuda ehk sapropeel moodustavad põhjasetted, mille kogupaksus enamasti piirdub mõne meetriga ning harva ületab 10 m. Järvelubja maksimaalpaksuseks on mõõdetud 6,8 m Kulina järves Pandivere kõrgustikul, järvemudade rekordpaksuseks 18 m Väimela Alajärves.

Järvesetete kujunemine algas kohe pärast mandrijää taandu- mist. Hilisjääajal settisid järvenõgudes eranditult savid, aleuriidid ja liivad, mille ülemistes kihtides võib kohati täheldada tava- lisest suuremat lubjasisaldust. Esialgu settisid järvenõgudes pea- miselt viirsavid, harvem kihitamata peeneteralised savid ja liivad. Allerødi soojaperiood oli sademeterohke, mistõttu järvede vee- tase tõusis. Kuhjunud setted olid savikad ja suhteliselt orgaanika- rikkad. Hilise Dryase (vt. tabel 5) jahedamas ja kuivemas kliimas järvede veepind alanes. Peeneteraliste savide asemel hakkasid kuhjuma aleuriitsed, sageli suure liivasisaldusega savid, milles leidub kohati hulgaliselt lehtsambla jäänuseid.

Holotseeni algust tähistav kliima järsk ja kiire paranemine avaldus ka järvesetetes. Peaaegu kõikides järvedes lakkas purd- setete kuhjumine ning algas järvelubja või sapropeeli kogune- mine. Jahedal ja niiskel preboreaalsel ajal (vt. tabel 5) kuhjus järvelubi väga kiiresti, keskmiselt 0,5 mm aastas, Tapa järves koguni 1,6 mm aastas. Soojal ja kuival boreaalsel ajal, eriti selle teisel poolel, laienes järvelubja tekkepiirkond Eestis uute maastu- nud alade arvel veelgi. Eestis leiduvast järvelubjast kuhjus Reet Männili hinnangute kohaselt preboreaalsel ajal ligikaudu 25, boreaalsel 35, atlantilisel 30, subboreaalsel 10 ja subatlantilisel ajal vähem kui 1 protsent. Järvelubi on eriti paks Kõrg-Eesti, eeskätt Pandivere ja Sakala kõrgustiku ning Vooremaa järvedes, kuid samuti Võrtsjärve nõos ja Loode-Eestis, kus levisid kaltsiumkar- bonaadirikkad lähtekivimid ning järvelubja settimiseks olid ka soodsad geomorfoloogilised ja hüdroloogilised tingimused. Samal ajal Peipsi nõos, Edela-Eestis ja Hiiumaa järvedes järvelubi pea- aegu puudub.

Järvelubjas esineb rohkesti subfossiilseid molluskeid, mis võimaldavad järvelupja allikalubjast eraldada ning teha järeldusi vee sügavuse muutumise kohta endistes järvedes. Subfossiilide liigilise koostise ja setete ainelise koostise andmetel oletas Reet Männil, et Eesti järvedes oli suhteliselt kõrge veeseis BO1, BO2, AT1 ja AT2 faasil, madal PB faasi alguses, BO1 ja BO2 ning BO2 ja AT1 piiril ning SB1 ja SB2 faasil (tabel 5). Maksimaalse kõrguse saavutas veeseis AT2 faasil, millal meie territooriumil valitses soe ja niiske atlantiline kliima.

Kui järvelubja settimiskiirus ja hulk boreaalsest ajast alates on pidevalt vähenenud ning kuhjumist on tänapäeval täheldatud vaid üksikutes järvedes (Porkuni, Valgejärv jt.), siis järvemuda settimine jätkub enamikus järvedes praegugi suure kiirusega. Näiteks on Ülemiste järve põhi kaetud keskmiselt 4 m (maksimaalselt 8,5 m) paksuse järvemuda kihiga, kusjuures veemahuti säilitamiseks tuleb muda pidevalt ärastada. Uheaegselt järvemuda settimisega toimub veekogude kinnikasvamine ja soode kujunemine.

Võrreldes Holotseeni algusega on järvede pindala Eestis praegu ligikaudu kolm korda väiksem. Tänapäeval on järvede kadumise üks olulisemaid põhjusi nende toitlises tões ehk eutrofeerumine, mida tingivad valgalalt ja õhust sissekantavad toitesoolad, eriti fosfori ja lämmastiku ühendid, põhjustades kõrgema taimestiku kiire arengu ja vetikate suvise vohamise, nn. vee õitsemise. Mida rohkem vetikaid ja veetaimi järves kasvab, seda kiiremini ta oma hukule läheneb. Surnud vetikad ja taimejäänused langevad põhja, samal ajal tungivad kalda poolt veepiirile sootaimed, moodustades õõtsiku. Rünna jätkub ühiste jõududega.

Järvede kinnikasvamist soodustab suuresti järvede veetaseme alandamine, mida meil maaparanduse käigus tehakse juba teist aastasada. Palju vett satub looduslikult ringlusest eemale ka karjamaade ja põldude üha laieneva vihmutamise tõttu. Oluliselt põhjustab järvede vähenemist ka neotektooniline kerkimine, mis alandab põhjavee taset ja kiirendab jõgede põhjaerosiooni.

Olukorra parandamiseks rajatakse uusi tehisjärvi ja veehoidlaid, pidurdatakse reostumist ning kavandatakse järvede noorendamist mudasetete väljapumpamise teel.

*Kõik on lihtne maa ja meri
tuul ja ilmavalgus
kivid pilved inimesed
aeg ja lõpp ja algus*

Jaak Kaplinski

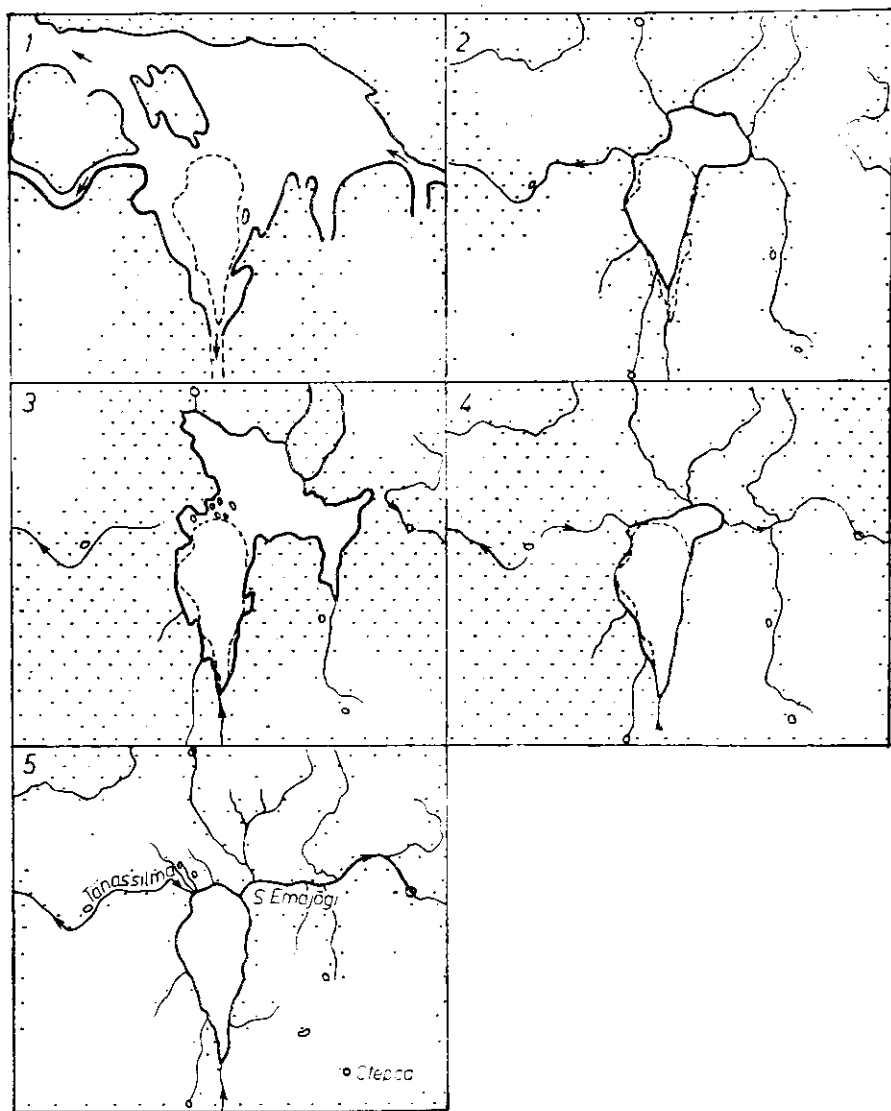
Eesti suurjärvede arenguloost

Eespool oli peamiselt juttu Eesti väikejärvedest. Suurjärvede, Peipsi ja Võrtsjärve arengulugu on hoopiski põnevam. Vahetult pärast mandrijää taandumist oli Võrtsjärve nõos suur jääpaisjärv, nn. Jää-Võrtsjärv, millest vesi voolas Tánassilma—Viljandi oru kaudu läände ja Väikese Emajõe oru kaudu lõunasse, sisse aga tänasele vastupidiselt (joon. 95, 1). Kui väljavool lõunasse sulgus, kujunes Urg-Võrtsjärv (joon. 95, 2), mille lõunaosa oli praegusest väiksem ja järve veepind nüüdsest umbes 5 m madalam.

Varaholotseeni teisel poolel katkes maakoore ebaühtlase kerkimise tõttu väljavool Viljandi oru kaudu ka lääne suunas. Kujunes ulatuslik sisejärv, mille veepind oli tänapäevasest kõrgem ja pindala tunduvalt suurem (joon. 95, 3). Selle nn. Suur-Võrtsjärve veed ujutasid üle alad nüüdisjärvest kirdes. Kõrgema ja liigestatuma reljeefiga alal oli Suur-Võrtsjärve kontuur nüüdisjärvele lähedane.

Järve loodeosa intensiivsema kerkimise tõttu kujunes Keskholotseeni algul Suur-Võrtsjärvest väljavool mööda Suure Emajõe orgu ida suunas. Järve veetase hakkas kiiresti alanema ja pindala vähenema (joon. 95, 4). Aegamööda kujunes tänapäevane Võrtsjärv (joon. 95, 5), mille vesi maakoore jätkuva kerkimise mõjul aegapidi lõuna suunas valgub.

Peipsi on suurem ja tema elulugu pikem. Esmakordselt vabanes Peipsi nõo lõunaosa mandrijää haardest Rauna interstadiaali ajal, umbes 13 300 aastat tagasi. Kuid see hingetõmme oli ajutine ja Haanja staadiumi ajal, umbes 13 200 aastat tagasi, kattus kogu nõgu uuesti liustikuga. Järgnenud tuhande aasta vältel laius Pihkva nõos ja Peipsi nõo lõunaosas taanduva jääserva ees Pihkva jääpaisjärv ehk Urg-Pihkva, kust väljavool oli esialgu mööda Võru—Hargla vagumust lääne suunas (joon. 51, A). Hiljem väljavool sealt lakkas (joon. 51, B). Urg-Pihkval oli mitmeid arengufaase enam või vähem 95, 85, 75, 60 ja 50 m kõrgusel püsiva veetasemega. Neid tähistavad jääpaisjärvetekkeliste pinnavormide tasased laed, murrutusastangud ja Pihkva järve suubuvate jõgede terrassid.



Joonis 95. Võrtsjärve areng hilisglatsiaalis ja Holotseenis (Leonidia Orviku järgi): 1 — Jää-Võrtsjärv, 2 — Ürg-Võrtsjärv, 3 — Suur-Võrtsjärv, 4 — järv pärast väljavoolu tekkimist Suure Emajõe oru kaudu, 5 — Võrtsjärv nüüdisajal.

Üle Kaiu ja Oudova kulgenud Sakala staadiumi jääserva ees kujunes ligikaudu 12 250 aastat tagasi Ürg-Võrtsjärvega ühenduses olnud Peipsi jääpaisjärv ehk Ürg-Peipsi (joon. 51, C). Vastavalt jääserva taandumisele alanes veetase järves. Kui liustik taandus Männikvälja—Uljaste lähistelt (joon. 50), kujunes Peipsi nõos Balti paisjärve laht. Eespool nentisime, et pärast mandrijää taandumist Soome lahte kujunes osa uurijate arvates liustiku serva ees soolaseveeline Karjala ehk Gotiglatsiaalne Joldiameri. Luuga—Narva ja Ojamaa madalik koos Peipsi nõoga oleks sel juhul olnud merelaht. Uuemad uurimised seda ei kinnita. Igatahes Peipsi nõos vee soolsus ei muutunud.

Et liustiku raskuse alt vabanenud maakoos aiva kerkis, jäi hilisjäaja lõpul Peipsi ühendus Balti paisjärvega üha nõrgemaks, kuni lõpuks katkes hoopis. Holotseeni alguseks jäi endisest hiidjärvest alles vaid väike lombike, nn. Väike-Peipsi (joon. 52, E). Emajõgi, Želtša, Piusa ja teised jõed voolasid sel ajal arvatavasti Velikajasse, see omakorda Väike-Peipsisse.

Järvenõo lähedale jäid jäänukjärved, mis kiiresti kinni kasvasid. Näiteks on Reet Pirruse andmeil Lämmijärvest ida poole Tšistõi Mohhi rabas turvas preboreaalist nüüdisajani vahetpidamata kujunenud.

Et Peipsi nõo põhjaosa kerkis lõunaosast kiiremini, hakkas Väike-Peipsi vesi lõuna poole valguma. Väike-Peipsi laienes ja kujunes ka Väike-Pihkva. Atlantilisel ajal mõlemad väikejärved ühinesid ja Peipsi omandas ligikaudu nüüdisaegsed mõõtmed. Kujunes ka väljavool Narva jõe kaudu.

Põhjavee taseme tõusuga hoogustus Peipsi rannikuala soostumine. Järve lääne- ja idaranniku soodes on atlantilise kliimastaadiumi teisest poolest alates kuhjunud 4—6 m paksused turbalasundid, Suure Emajõe suudmealal Akalis olev noorema kiviaja asulakoht on aga kohati kattunud kuni 2,5 m paksuse turbakihiga.

*Hädas tuhandeaastase ajalooa,
hädas rahvuse, kivide, mädasooga,
pooleldi tõelus, pooleldi kujutelu —
see on eestlase elu.*

Mats Traat

Ei hõbedat, kulda...

Pealkirjaks pandud kõigile tuntud laulusõnadest jääb ekslik mulje, nagu oleks kuld ja hõbe need eluks kõige vajalikumad maavarad. Vaevalt meie igapäevastes toimetustes palju muutuks, kui näiteks Võrumaal hõbedat kaevandataks. Küll aga tulevad kohe muremõtted pähe, kui hommepäev ei oleks kuskilt võtta ehitusliiva või kruusa. Aga kvaternaari ajastu omapära ongi, et see varustab meid igapäevaseks eluks kõige tavalisemaga. Nii oli juba ürgajal ja jätkub ka edaspidi.

Kvaternaari ajastu maavarade loetelu ei olegi nii kasin, kui esialgu tundub. Leidub turvast ja sapropeeli, liiva ja kruusa, rauaookrit ja diatomiiti, kvaliteetset põhjavett ja muudki. Kuid kvaternaari rikkuste hindamisel satume me terminoloogilistesse raskustesse, sest nii naljakas kui see ka on, mitte kõiki maapõue rikkusi ei loeta maavaraks. Maavaraks tunnistatakse üksnes selline looduse and, mille kasutamine looduslikul kujul või töödelduna on antud hetkel majanduslikult tasuv. Seega võib üks ja sama mineraal, sete või kivim ühes riigis olla maavara, teises mitte. Ja tootmise arenedes ning majandusliku vajaduse muutudes võib mõni aine saada maavaraks, teine minetada selle tähenduse.

Nii ei teagi meie ametkonnad, kas nad peavad kõigist meie vabariigi loodusrikkustest lugu pidama. Üks kahtlusalune on järvemuda ehk sapropeel, mida Eesti järvedes on esialgsete hinnangute järgi umbes 3 miljardit m³ Valgevenes, Rootsis ja teistel naaberriikidel on kindlaks tehtud, et järvemuda on väärtuslik põllu- ja aiaväetis, loomatoidu lisand, ravivahend, kütte- ja ehitusmaterjal. Ühes kilogrammis järvemuda kuivaines sisaldub 200—490 mg mikroelemente (Mn, Br, Cu, Bo, Co, Mo, J, Zn jt.), 3—26 mg karotiini ja 62—2080 mg vitamiini B₁₂. Sapropeelis leidub ka suhkruid, proteiine, tselluloosi ja hemitselluloosi, bituume, neid, riboflaviini, foolhapet, B₁-, B₂- ja D-vitamiini ning terve hulka (ligi paarkümmend) aminohappeid, mis moodustavad 15—25% loomorganismis kasutatavatest valkudest.

Suure Isamaasõja aastail hoiti Uuralites järvemudaga elus tuhandeid sigu, praegugi suurendatakse Vene NFSV mittemust-

mullaoblastites põlde järvemudaga väetades keskmist viljasaaki 10—12 tsentnerit hektarilt, linnuvabrikutes saadakse kanade kaltsiumi- ja osalt ka valkainete ratsiooni sapropeeliga asendamisel miljonitesse rubladesse ulatuvat tulu.

Kuid sete, mis ühes liiduvabariigis on maavara, ei pruugi seda olla teises. Põllumajanduse intensiivarengule üle läinud Eesti NSV-s olevat sapropeeli laialdane kasutamine vähetasuv. Kuid sapropeeli sobimatust tuleks tõestada. Alles uurimise järel tohiks otsuseid langetada.

Järvemuda kasutamine on paljutahuline. Eeskätt on seda vaja järvede noorendamiseks, rekreatiivse ja kalamajandusliku olukorra parandamiseks välja pumbata. Hädatarvilik on Lahepera järve, Peipsi järve kalade koelmu puhastamine. Ülemiste järvest on muda pikka aega välja tõstetud, keskmiselt 50 000—60 000 m³ aastas, muidu oleks järv juba ammu umbe kasvanud ja tallinlased joogiveeta jäänud. Öismäe elanikud ootavad pikisilmi Harku järve puhastamist.

Kuid kuhu muda panna? Ülemiste settebasseinid on seda ammuilma täis. Eks ikka põllule, et maa hoogu juurde saaks! Ühe tonni muda rammu võrreldakse poole tonni sõnniku vägevusega. Ainult et ühe järve muda võib teise omast sootuks erineda ja mõne oma ehk ei kõlbagi. Üks on suure, teine väikese happesusega, üks orgaanika-, teine mineraalainerikkam. Suisa põllule muda üldsegi vedada ei või, enne peab ta settebasseinides seisma ja vähemalt ühe talve jooksul põhjani läbi külmuma.

Ei saa öelda, et Eesti põllumehed muda vastu huvi poleks tundnud. Karl Veber määras kindlaks orienteeruvad sapropeeli-hulgad ja nende väetisomadused. Keskmiselt leetunud kamarleetmullal kasvatati otra ja anti hektarile kuivaines 20 tonni järvemuda. Esimesel aastal pärast väetamist saadi enamsaaki 15—94%, teisel aastal 33—100%. Paranes ka saagi kvaliteet. Järvemudaga väetamisel suurenes kartuli tärklisesisaldus 2,5% ja kapsa mineeraalainesisaldus 4,5% võrra.

«Sangari» kolhoosis saadi Elistvere järve muda koos sõnnikuga kasutades talirukkipõllult 40 tsentnerit teri hektarilt, ainult mudaga väetamisel kujunes terasaagiks 21 ts/ha, väetamata põlluosalt saadi vaid 5 ts/ha. Värska sovhoosis saadi järvemudaga väetamisel kartuleid 160 ts/ha, väetamata põlluosalt aga 100 ts/ha. Aastaid tagasi lisas Otepää sovhoosis zootehnik A. Uiho sapropeeli pörsaste söödale ja suurendas sel teel nende juurdekasvu kuni 20% võrra. Et veelinnud ja kalad toituvad veekogude põhjas olevast sapropeelist, on ammu teada.

Eesti suurima sapropeelikihiga Väimela Alajärves kavandasid Võru EPT ja «Eesti Põllumajanduskeemia» ulatuslikud tööd. Objekti maeti suured summad, kuid tulu sellest ei tulnud. Järve

ümbrus lagastati, seadmed ja torud roostetavad ilmarahva naeruks. Hoopis korralikumalt edenesid tööd Ermiste järves Tõstamaa külje all, kuid sealgi jäävad kulud tuludele esialgu alla. Uueks objektiks kujuneb Lahepera, kus varem tehtud vigu püütakse vältida.

Avarduda võiksid järvemuda kasutusala. Näiteks tehti Üleliidulises Kurortoloogia ja Füsioteraapia Instituudis kindlaks, et Ülemiste järve sapropeeli füüsikalised ja keemilised omadused ei jää alla Haapsalu ravimuda omadustele. Värska muda osas on see juba ammu selgeks tehtud, kuid võib-olla on veelgi paremate raviomadustega mudad alles kusagil peidus?

Perspektiivne oleks sapropeelist granuleeritud väetise ja kalasööda valmistamine. Valgevenes on sapropeeli edukalt kasutatud ehitusmaterjalitööstuses soojustusmaterjalide sideainena, keraamiliste kivide ja voodrimaterjalide koostises, granuleeritud järvemuda perliidina polümeerbetonides, agloporiidi tootmisel jne. Järvemuda suspensioonidest on välja töötatud kergtampoonmörte sügavpuuraukude tampoonimiseks. Neid on kasutatud ka poldrite kaitsetammide rajamiseks.

Õeldut silmas pidades peaks saabuma aeg, kus järvemuda ka Eestis muutub maavaraks. Praegu aga tuleks tema üle otsustada mitte ainuüksi otsese rahvamajandusliku kasu põhjal, vaid komplekselt, silmas pidades nii veekogude elustikulise ja esteetilise külje paranemist kui ka looma- ja taimeriigi rikkuste säilitamist.

*Oi sookailud oi porsad
kaugete tundrataimede hõimud
põleva rooste karva
igihaljad pedakasrohelised.
Tulitanud samblad tumedal turbal
õõtsuval rabakamaral.*

Minni Nurme

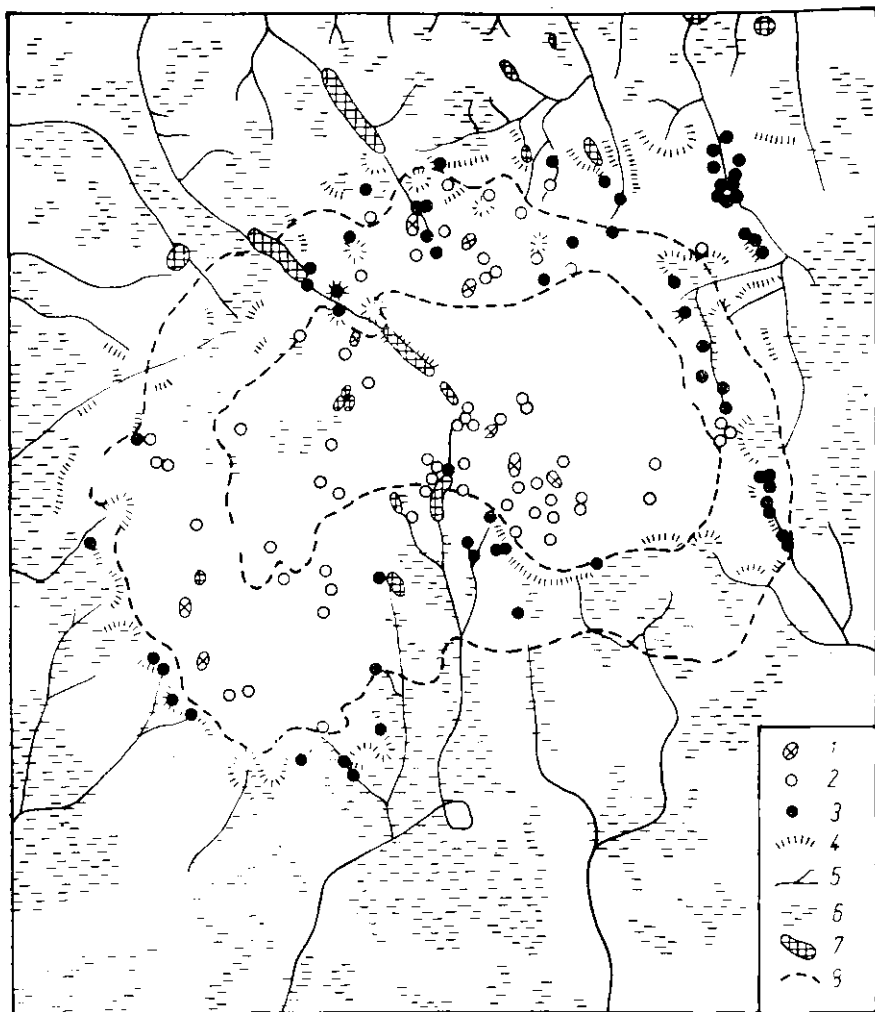
Soodest ja nende kujunemisest

Turbasoodede all arvatakse maakeral olevat umbes 2 miljonit km², millest ligikaudu $\frac{3}{4}$ jääb Nõukogude Liidu piiresse. Suurimad soomassiivid paiknevad Lääne- ja Ida-Siberi, Kaug-Ida ning Euroopa-osa taiga- ja tundravööndis. Suureks soode alaks on ka meie koduvabariik, kus erinevad uurijad on loetlenud 7000—18 000 (uusimatel, Mall Orru andmetel 16 500) mitmesuguse suurusega sood ja sookest. Kokku hõlmavad need 25,8% vabariigi territooriumist. Ligikaudu $\frac{2}{3}$ on madal- ja siirdesoid, rabasid on 35—40%. Järvi, laukaid ja mineraalmaasaari on soodes 25 000 ha.

Soomaid on kõige rohkem Kohtla-Järve ja Pärnu rajoonis (kummaski üle 12% Eesti soode pindalast), peaaegu soodeta on Pandivere kõrgustik, kus rohkete karstilõhede tõttu on vähe eeldusi püsiva liigniiskuse tekkimiseks. Seevastu kõrgustikku ümbritsevatel aladel, kus karstiveed hoogsalt päevavalgele tulevad, on soid rohkesti (joon. 96). Soodede arvukuselt (2346) on aga esikohal hoopis Võru rajoon. Kuid sealsed küngastevahelistes lohudes paiknevad, endiste järvesilmade kinnikasvamisel kujunenud sood on enamasti tillukesed ning moodustavad soode üldpindalast ainult 4,2%.

Soo on veest küllastunud liigniiske maismaaosa, kus surnud taimejäänused kuhjuvad ja turvastuvad. Kokkuleppeliselt loetakse sooks ala, mida katab vähemalt 30 cm paksune turbakiht. Sellest piisab, et panna piir mineraalmaal kasvavatele liikidele ja anda kasvuruumi niiskuslembestele vähenõudlikele sootaimedele.

Eesti tasane pinnamood, väikesed suhtelised kõrgused ja niiske kliima löid soode kujunemiseks soodsad eeldused kohe pärast mandrijää taandumist ja vähegi lopsakama taimkatte kujunemist. Sellised tingimused tekkisid juba hilisjäaaaja lõpus, kuid õige hoo sai soostumine alles preboreaalsel kliimastaadiumil (tabel 5), sedagi ainult Kõrg-Eestis. Madal-Eesti oli sel ajal veel Läänemere valduses ning sood hakkasid tekkima sedamööda, kuidas maa-



Joonis 96. Peaaegu soodeta on Pandivere kõrgustik, kus rohke karstilõhede tõttu on vähe eeldusi püsivalt liigniiskete alade tekkimiseks. Seevastu kõrgustikku ümbritsevatel aladel, kus karstiveed hoogsalt päevavalgele ilmuvad, on soid rohkesti: 1 — karstiväljad, 2 — kurisud ja väiksed karstialad, 3 — suured allikad, 4 — suured põhjavee väljavoolualad, 5 — jõed, 6 — sood, 7 — järvelubja lasundid, 8 — aluspõhja kõrgusjooned. (Karl Orviku järgi.)

pind vee alt vabanes (joon. 69). Ajuti tungis taanduv meri uuesti peale ja katkestas soostumise. Selle tõendiks on rannasetete alla mattunud turbakihid. Palünoloogiline andmestik näitab, et Antsülusjärve rannajoonest madalamal levivad sood hakkasid kujunema alates boreaalse kliimastaadiumi teisest poolest, Litoriinamere rannajoonest allpoolsed sood aga alates atlantilise kliimastaadiumi teisest poolest (vt. tabel 5). Soid tekib juurde praegugi kõikjal, kus selleks on tingimusi.

Kõigepealt on vaja soodsat veerežiimi, sest vesi on sootaimede eluks vajalike mineraalainete peamine allikas. Erinevaid soode toitumistüüpe on laias laastus neli.

1. Survelise põhjaveega ehk allikaline toitumine esineb oruveerudel ja kõrgendike nõlvadel. Surve all olev põhjavesi liigub läbi turba maapinnale ning valgub allikate ja niredena laiali. Allikasood ei moodusta suuri massiive, vaid esinevad väiksemate ribade ja laikudena. Et survealine vesi enne soosse jõudmist harilikult läbib pakse pinnakatte- ja aluspõhjakihte, on ta toitainete- ja lubjarikas ning põhjustab seetõttu kohati nõrglubja tekkimist. Viimane võib moodustada ulatuslikke terrassilaadseid tasanikke, mille pikkus ulatub paari kilomeetrini, laius paarisaja meetrini. Sealjuures võib nõrglubja paksus küündida 5—6 meetrini (näit. Rõuges).

2. Surveta põhjaveega toitumisel ulatub põhjavesi küll turbasse, kuid liigub harilikult turba all olevates mineraalsetes kihides. Vesi on toitainete- ja lubjavaesem.

3. Üleujutustoitumine esineb jõelammidel või suuremate veekogude läheduses. Tulvavetega kantakse turbakihti veel lahus- tunud ainete kõrval ka rohkesti mehhaanilisi lisandeid — liiva, savi ja mitmesugust risu.

4. Sademeline ehk atmosfääriline toitumine on iseloomulik rabadele. Sademelise toitumisega soode turvas on tuha- ja toitainetevaene.

Tekketingimuste alusel jagatakse sood madalsoodeks, siirde-soodeks ja rabadeks; puurinde esinemise järgi aga lagesoodeks ja metsasoodeks, kusjuures viimaste vaheastmena eristatakse üksikute puude või puude gruppidega puissoid.

Madalsood tekivad põhja- või üleujutusveega toitumisel või järvede kinnikasvamisel. Madalsoo lagedatel aladel levivad ülekaalukalt mitmesugused tarnaliigid. Samblarindes valitsevad lehtsamblad, puudest ja põõsastest aga sookased ja pajud. Liikuva lubjarikka põhjaveega metsasoode (lodumetsade) puurindes on tavalised sanglepp ja sookask, harvemini kuusk. Alustaimestik on liigirikas ja lopsakas. Esinevad seakapsas, angervaks, pilliroog, sõnajalad ja mitmesugused lehtsamblad. Väheliikuva lubjavaese põhjaveega metsasoode alustaimestik (tarnad, sookastik, soosõna-

jalg, mitmesugused lehtsamblad jt.) on tunduvalt liigivaesem, kusjuures puurindes valitseb sookask.

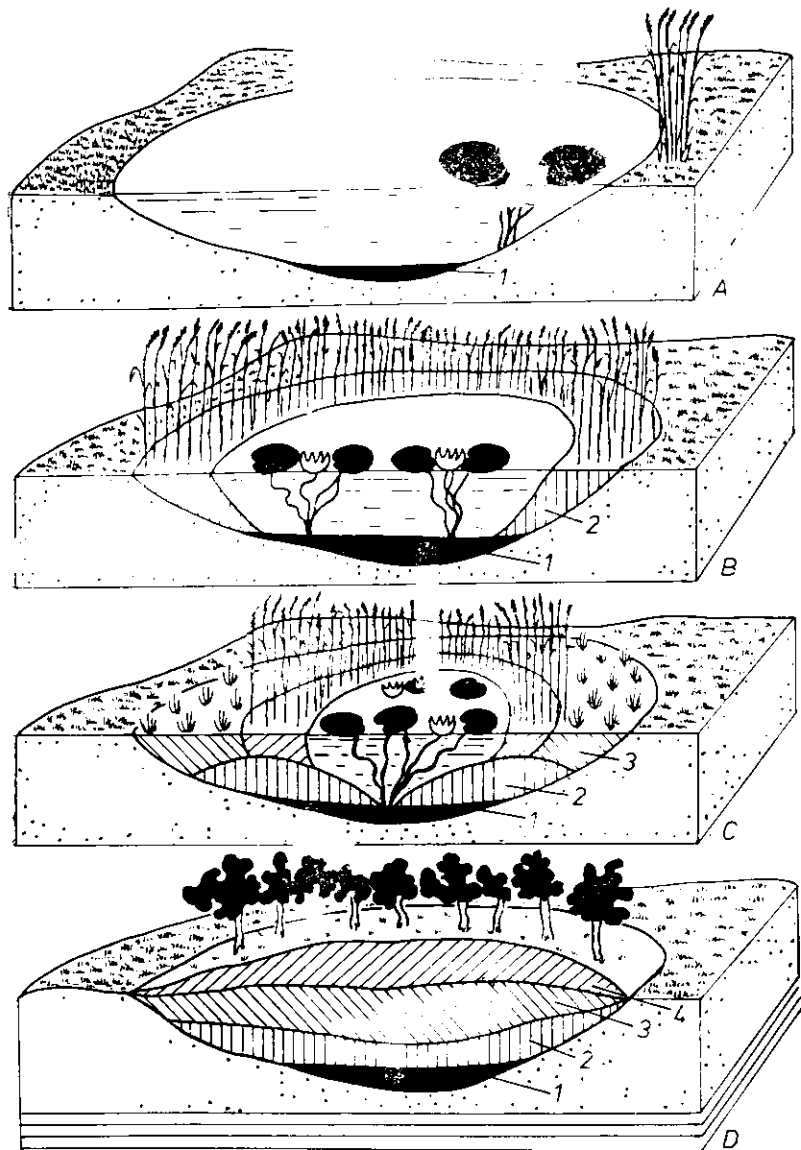
Siirdesood paiknevad aladel, kus põhjavetest toitumine on asendumas atmosfäärilise toitumisega. Enamasti on sellised kesktoitelised sood kujunenud madalsoodest, kuid kohati, näiteks toitainetevaestel mere- ja järveliidudel, võivad moodustuda ka soo esimese astmena. Nõudlikud (eutroofsed) taimeliigid on siin asendunud vähenõudlikumatega (mesotroofsetega). Tarnadest levivad rohusoodes niitjas tarn, pudeltarn ja mudatarn, peale nende kasvab veel jänesevilla ja tupp-villpead, mätastel leidub kukemarju, jõhvikaid, sinikaid jt. Samblarindes levib lehtsamalde kõrval ka turbasamblaid. Sageli on rabastuvad rohusood kaetud võsa ja hõreda metsaga, kus kasvavad sookask, paju, kuusk, mänd ja kohati ka madal kask. Rabastuvate madalsoode puurindes domineerib harilikult mänd, harvemini sookask. Alustaimestik kasvavad rohttaimedest tarn, tupp-villpea, sinihelmi-kas jt., puhmastaimedest sinikas, sookail, küüvits ja Ida-Eestis hanevits. Samblarindes on turbasammalde kõrval ka karusammalt ja lehtsamblaid.

Rabad on sademelise toitumisega ja tekivad kas siirdesoode rabastumisel, toitainetevaese veega järvede kinnikasvamisel või toitainetevaese maismaa soostumisel. Rabad on kumera pinnaga ja mõnikord (eriti Lääne-Eestis) servaaladest 10—12 m kõrgemad, mis õigustab nende paralleelnimetust — kõrgsoo. Rabasid iseloomustab toitainete suhtes vähenõudlik (oligotroofne) taimestik. Valitsevad turbasamblad. Rohurindes on iseloomulikud kanarbik, sookail, küüvits, kukemari, jõhvikas, tupp-villpea, murakas, huulhein jt., puudest aga kidurad männid ja vaevakask. Viimane Lääne-Eesti rabades puudub.

Raba on turbasammalde looming. Turbasamblad suudavad vett oma kudedesse imada ja seal ka hoida. Sammalde tiheda kasvu tõttu koguneb vett ka taimede vahele, mis loob mikrokeskkonna, kus teisedki rabataimed suudavad pikemaajalistele kuivaperioodidele vastu pidada. Turbasamblapadjand on seega kogu ümbritseva keskkonna veemajanduse reguleerija.

Kuid turbasamblad on raba peremeestaimed ka seetõttu, et nende elutegevuse käigus tekivad ained, mis ei meelita seeni, baktereid ega loomi neid sööma ja lagundama. See on rabavete puhtusegi põhjus.

Enamik Eesti väikesi soid on kujunenud toitaineterikaste järvede kinnikasvamise ehk mültumise tulemusena (joon. 97). See algab vees hõljuvate ja lahustunud ainete, taimejäänuste, vetikate jms. settimisega veekogude põhjas, kus kujuneb järve-muda. Veekogu kalda ligidal hakkavad mudal kasvama mitme-



Joonis 97. Enamik Eesti väikesi soid on kujunenud toitainerikaste järvede kinnikasvamise ehk mültumise tulemusena. See algab vees hõljuvate ja lahustunud ainete settimisega veekogu põhjas, kus kujuneb järvemuda (A). Veekogu kalda ligidal hakkavad mudal kasvama mitmesugused veetaimed, mille jäänused settivad koos mineraalosakeste ja planktonijäänustega (B). Lisanduvad mäismaataimed ja järveke aheneb, kasvades kinni nii põhjast kui ka kallastelt (C). Lõpuks ala rabastub ja kattub hõreda puistuga (D). 1 — järvemuda, 2 — pillirooturvas, 3 — tarnaturvas, 4 — sfagnumiturvas. Täpitatud on liiv ja kruus, horisontaaljoontega on näidatud savi.

sugused veetaimed, mille jäänused settivad koos mineraalosakeste ja planktonijäänustega.

Sõltuvalt veekogu sügavusest ja kallaste iseloomust algab kinnikasvamine valdavalt kas põhjast või kallastelt. Põhjast kinnikasvamine on ülekaalus laugete kallastega ja suhteliselt madalas veekogus, kus taimestik moodustab kontsentrilisi vööndeid. Madalas, alla 1 m sügavuses vees kasvavad tarnad, konnarohi, sootulikas, kuuskhein jt. Neile järgneb kõrkjatevöönd (2—3 m sügava veega), kus peale kõrkjate kasvab rohkesti pilliroogu. Järgnevad vesiroosid ja ujuv penikeel, millel on nii ujuvaid kui ka veealuseid lehti. Veel kaugemal on taimed (penikeeled, vetikad jt.) üleni vee all.

Seoses taimejäänuste järkjärgulise kuhjumise ja veekogu madaldumisega kaugenevad nimetatud taimekooslused esialgselt kaldast ja lõpuks kasvab veekogu kinni. Nii on soostunud suur osa Madal-Eesti järvi.

Pinnalt kinnikasvamine on sage sügava veega järvedes (näiteks Uljaste järves, Neeruti Sinijärves jm.). Kinnikasvamine algab õõtsikkamara moodustumisega tuultest varjatud kaldal. Sellise kamara kujundamisel on pioneerliikideks samblad, soopihl ja ubaleht, hiljem lisanduvad tarnad ja teised sootaimed. Õõtsikkamar muutub aasta-aastalt paksemaks ja vajub allapoole, kuni lõpuks ulatub veekogu põhjani.

Suuremad Eesti sood (Puhatu — 468 km², Epu-Kakerdi — 417 km² jt.) on kujunenud enamasti mineraalmaade soostumisel, mis seisneb niiskuslembeste taimede asumises liigniiskele pinnasele, kus sademete hulk ületab aurumise ja pinnavete äravoolu. Liigniiskust võib põhjustada kõrge põhjavee tase, nõgudesse jäänud põhjavesi, vettpidava kihi tekkimine mullaprofiilis jne. Sageli põhjustab soostumist metsa maharaiumine, millega kaasneb põhjavee taseme kerkimine.

Eriti soodsad tingimused mineraalmaade soostumiseks olid endiste jääpaisjärvede levikualal, kus hilisjääajal rohkesti tekkis vettpidavaid peeneteralisi setteid (viirsavi, aleuriitliiv jt.). Just neil setetel on kujunenud Eesti suurimad sood ja soostikud.

Eesti soode areng on olnud piirkonniti erinev ja suuresti sõltunud maakoore neotektoonilistest liikumistest. Enamik soid tekkis toitaineteküllastes tingimustes, mida tõendab nende põhjas leiduv madalsooturvas. Kohtades, kus maakoore vajub ja põhjavee tase tõuseb (Suure Emajõe suudmeala, Kagu-Eesti), on madal-sooturvas pidevalt kuhjunud ning settekihid paksud (6—7 m). Seal aga, kus maakoore neotektooniline kerkimine on põhjustanud põhjavee taseme alanemist, on sood toitainete puudusel muutunud või muutumas rabadeks, ühed varem, teised hiljem. Madal-sooturba paksus ületab neis harva 1—2 m, rabaturba paksus ula-

tub tavaliselt 4—5 meetrini. Eriti kiire järvede kinnikasvamine ja madalsooturba kujunemine toimus suhteliselt soojal ja kuival boreaalsel kliimastaadiumil. Sademeterohkel ja soojal atlantilisel kliimastaadiumil intensiivistus seevastu rabade kasv (tabel 5). Keskhooltseeni lõppu iseloomustav kliima jahenemine ja kuivemaks muutumine pidurdas rabade teket. Siis moodustunud rabaturvas on seetõttu tugevasti kõdunenud ja sisaldab palju kanarbikku ning männikände. Mitmed väiksemad rabad (näit. Sõjamäe raba Tallinnas) kattusid sel ajal tiheda männimetsaga. Järgnenud sademeterohkel subatlantilisel kliimastaadiumil kiirenes rabaturba kasv taas, seetõttu on turvas vähe kõdunenud.

Turvast kasvab ka praegu juurde, ligikaudu 0,9—1,4 miljonit tonni aastas. Mati Ilometsa hinnangute kohaselt on madalsooturba keskmine juurdekasv 0,5 mm ja rabaturbal 1,5 mm aastas. Seega moodustub aastas ühel hektaril madalsooturvast 0,8—1,2 t ja rabaturvast 1,1—1,8 t. Soode suurust arvestades täienevad madalsooturba varud 0,52—0,77 miljonit t ja rabaturba varud 0,38—0,63 miljonit t aastas.

Tasakaalustatud tootmiseks on sellest vähe. Turba toodang meie vabariigis ületab aastase juurdekasvu 2,2—3,4 korda (rabaturbal 1,9—3,1, madalsooturbal 2,5—3,7 korda). Praeguse tootmismahu juures taastub loodusliku juurdekasvuna ainult 42% rabaturbast ja 34% madalsooturbast ning edaspidi halveneb olukord veelgi. Soode kultiveerimise, freesturbaväljade rajamise, maa-varade kaevandamise jm. tõttu on turba looduslik juurdekasv katkenud vähemalt 100 000 hektaril ning see tendents jätkub.

Teadmatus on mõnes mõttes parem teadmisest: kui sa eitea, mida teha, on sul palju võimalusi, kui tead, siis on ainult üks.

Arvo Valton

Turbast ja selle kasutusaladest

Kogu soos leiduvat turbamassi nimetavad geoloogid turbalasundiks. Kui rabaturbad moodustavad lasundist vähemalt poole, on tegemist rabalasundiga. Segatüüpi lasundite alumine osa koosneb kas madalsoo- või siirdesooturbaist, millest kõrgemal peab olema vähemalt poole meetri paksune rabaturba kiht. Kui rabaturbaid ei ole või nendest koosneva kihi paksus on alla poole meetri, on tegemist kas madalsoolasundiga või siirdesoolasundiga.

Igas lasundis esineb harilikult rohkesti turbaliike. Turba klassifikatsiooni suurim ühik on turbatüüp (madalsoo-, siirdesoo- ja rabaturvas). Järgnevad alltüübid, rühmad ja liigid. Eestis on seni määratud 55 turbaliiki, millest levinuimad on esitatud tabelis 6. Turbaliigi nimetus koosneb maksimaalselt kahe taimeliigi või -rühma nimetusest; kui sama taimeliik kasvab rohkearvuliselt mitmes sootüübis, siis lisatakse sellele veel turbatüübi nimetus.

Turbatüübi määramisel arvestatakse erineva toitelisusega taimeliikide esinemist. Näiteks on siirdesooturbaga tegemist siis, kui madalsootaimede hulgas leidub üle 5% rabataimi või kui rabataimede domineerimisel esineb vähemalt 5% madalsootaimi. Eestis on kõige rohkem madalsoo puu- ja pillirooturvast ning raba fuskumi- ja villpea-sfagnumiturvast.*

Turba tehniliste omaduste hindamisel määratakse lagunemisaste (vähelagunenud — alla 20%, keskmiselt lagunenud — 20—35% ja hästilagunenud — üle 35%), mineraalainesisaldus ehk tuhasus, tihedus ja kütteväärtus. Kõik need olenevad suurel määral turbatüübist ja -liigist. Näiteks on madalsooturvas mineraalaineid keskmiselt 6—18%, siirdesooturvas 4—6% ja rabaturvas kõigest 2—4%.

Ligikaudu 60% maailma turbavarudest (umbes 160 miljardit tonni) paikneb Nõukogude Liidus, Eesti on liiduvabariikide seas

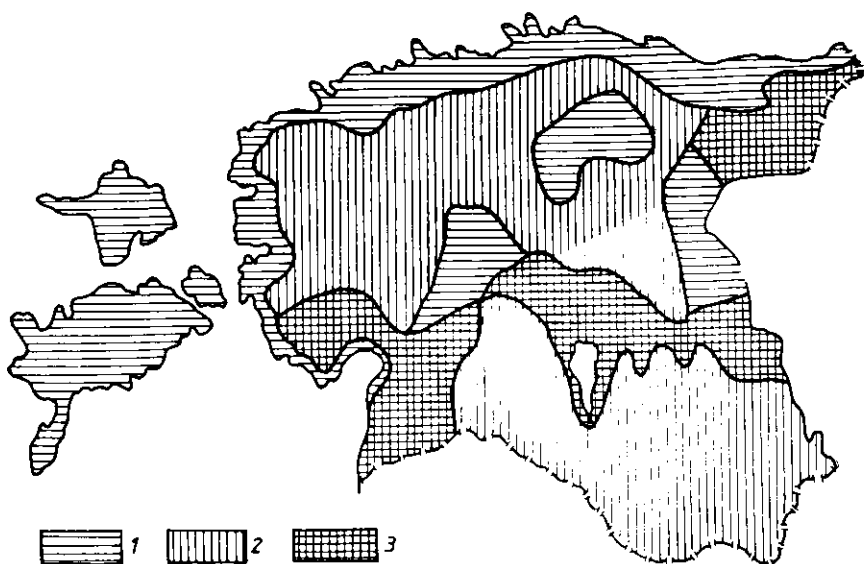
* Nimetused tulenevad põhilise turvast moodustava turbasambliiigi nimetusest. *Sphagnum fuscum* — pruun turbasammal, *Sph. magellanicum* — punakas turbasammal.

Eesti levinuimad turbaliigid

Alltüüp	Rühm	Liik		
		Madalsoos	Siirdesoo	Rabas
Metsa-	puu-	puuturvas	puuturvas	
Metsa-märe-	puu-rohu-	puu-pilliroo- turvas puu-tarna- turvas		
	puu-sambla-		puu-sfagnu- miturvas	
Märe-	rohu-	tarnaturvas		
	rohu-sambla-	pilliroo- lehtsambla- turvas tarna-leht- samblaturvas	pilliroo- sfagnumi- turvas tarna- sfagnumi- turvas	villpea- sfagnumi- turvas
	sambla-	lehtsambla- turvas	sfagnumi- turvas	magellaani- kumiturvas fuskumiturvas kompleks- turvas

Vene NFSV (rohkem kui 90%), Valgevene (umbes 3%) ja Ukraina (ligikaudu 2,5%) järel neljandal kohal (umbes 1,5%), ühe elaniku kohta võetult isegi esikohal. Turba orienteeruvad varud 40-protsendilise niiskusesisalduse juures on ligikaudu 3 miljardit tonni (joon. 98).

On seda palju või vähe? Ei palju, ei vähe! Praeguse tootmis- taseme juures (umbes 5 miljonit tonni aastas) jätkub turvast veel aastakümneteks ja -sadadeks, kuid priiskamiseks pole samuti alust, sest tegelikud, kaevandamist võimaldavad varud on palju väiksemad. Suur hulk soid on kuivendatud ja võetud heina- ning



Joonis 98. Eesti turbavarude paiknemine: 1 — turbavaesed piirkonnad, 2 — keskmiste varudega alad, 3 — turbarikkad piirkonnad.

põllumaa alla, paljusid aga tuleb säilitada veereservuaaridena ning taime- ja loomariigi kaitseks.

Rahvamajanduse tarbeks on turbavarudena praegu arvel 528 soo rikkused, kokku ligikaudu 1,9 miljardit tonni, sealhulgas 1,2 miljardit tonni kütte- ja väetisturvast ning 0,7 miljardit tonni alusturvast. Kaheksakümnendate aastate alguses jagunes meil turba tootmine nende kolme kasutusala vahel ligikaudu võrdselt, igauhele umbes miljon tonni. Praegu freesitakse Eestis 5 miljonit tonni turvast aastas. Ligi pool sellest kogusest (2,4 miljonit tonni) kulub põllumaade parandamiseks, loomadele allapanuks läheb 1,33, briketi valmistamiseks aga 0,9 miljonit tonni turvast aastas. Kuid turbal on ka palju muid perspektiivseid kasutusalasid, mis meie vabariigi uurijate vaateväljast on teenimatult kõrvale jäänud.

Uuringud näitavad, et turba orgaaniline osa sisaldab 50—60% süsinikku, 30—40% hapnikku, 5—7% vesinikku, 1—3% lämmastikku ning vähesel määral fosforit, väävlit ja teisi elemente. Keemiliste ühenditena on turbas bituumeneid, humiinaid, hemitsetluloosi, tselluloosi, ligniini ja muud. Termilisel töötusel, kas

poolkoksisutamisel (kuumutamisel kuni 500 °C-ni) või vee termomehhaanilisel ärastamisel (kuumutamisel kuni 180 °C-ni), saab turbast mitmetes tööstusharudes vajalikke aineid, poolkoksi ennast aga vajatakse klaasitööstuses, niisamuti fosfori ja mitmete puhaste metallide tootmisel. Inglismaal on see ihaldatavaim kaminakütus.

Turba poolkoksisutamisel saame lisaks poolkoksile (umbes 45%), gaasi (umbes 25%) ja tõrva (umbes 10%), turbatõrvast aga fenoole, turbaõli, vaha ja pigi. Loetletud vaheproduktidest on omakorda võimalik valmistada lakke ja liime, parkaineid ja immutusmaterjale, plastmasse ja flotoreagente, kingakreemi ja poleerpastasid, karbolineumi ja parafiini, kautšukipehmemendeid ja hüdroisoleermaterjale.

Turba energotehnoloogilisel töötlemisel eraldunud vesi sisaldab äädikhapet, furfurooli ja suhkruid; viimastest võib väävelhappe abil toota etüülalkoholi ja söödapärmi. Eestis hakati söödapärmi omahinnaga 285 rubla tonn 1959. a. detsembris valmistama metsatöötlusjääkide utteveest V Kingissepa nimelises Tallinna Tselluloosi- ja Pabrikombinaadis. Ent arvutused näitasid, et suure võimsusega turbatööstuses tuleks söödapärmi omahind veelgi madalam. Valmisid kavad kogu meie vabariigi vajadusi katva 10 000-tonnise aastatoodanguga söödapärmitehase ehitamiseks Lavassaare piirkonda. Projekti realiseerimisel kujunesid takistuseks raskesti lahendatav tööjõuprobleem, suured kapitaalmahutused, rohke veevajadus ning Pärnu lahe ja selle puhketsoonide reostamisoht. Eriti viimane põhjus on sundinud plaaniorganeid söödapärmi mammuttehasest seni loobuma, kuid väikestes hulka-des toodetakse söödapärmi Kehtna näidissovhoostehnikumis, ning üsna edukalt.

Juba ammu on täheldatud turba konserveerivat ja antiseptilist toimet. Taanis on turbarabadest leitud tuhandeid aastaid vanu hästisäilinud surnukehasid ja riidesemeid. Ajaloo kogemustele toetudes on mõnedes maades hakatud turbapulbrit kasutama antiseptikuna, turbast endast aga tootma antibiootikume. Turbamudaga ravitakse tugi- ja liikumiselundite, perifeerse närvisüsteemi ning günekoloogilisi haigusi edukalt juba poolteist sajandit.

Rabaturvas on tugev sorbent (eripinnaga kuni 200 m²/g) ning tal on suur ionivahetusvõime, mistõttu teda saab kasutada heitvete puhastajana. Võrreldes sünteetiliste sorbentidega on sfagnumiturba kasutamine palju odavam.

Kõigis arenenud maades on jõutud arusaamisele, et sood on looduse hädavajalikud «neerud», mis puhastavad keskkonda reoainetest. Seepärast oleks meilgi tarvis turbavarusid kasutada senisest mõistlikumalt. Näiteks saaks alusturba kadusid majandis

hoidmistingimuste parandamisega suuresti vähendada, kokkuhoidu annab ka turbale peenestatud põhu lisamine.

Looduskaitsejaid teeb nukraks turba üha laienev kasutamine kütteks ja elektrienergia tootmiseks. Maailmas pidevalt progresseruv kütusekriis on sundinud teadlasi aastakümnetega unustusehõlma vajunud turba juurde tagasi pöörduma. Energeetikute arvates võib turbakütusel töötava gaasi- ja auruturbiinidega varustatud elektrijaama võimsus vabalt 60 megavatini küündida. Sel juhul oleks võimalik ligi pool turba põlemisel tekkivast energiast elektrienergiaks muundada. Vaatamata sellele, et õhkkui-vagi turba kütteväärtus on madal — 2500—3500 kcal/kg (puidul keskmiselt 5500 ja kivisöel 7000—8000 kcal/kg), saab ometi ühelt turbasoo hektarilt niisama palju soojusenergiat kui 20—30 ha metsalt.

Kuid olgem humanistid. Tulevased põlvkonnad oskavad turvast kindlasti otstarbekamalt kasutada kui meie. Jätkem neile see võimalus!

*Kõik teooriad on head seni, kuni
neid liiga tõsiselt ei võeta.*

Arvo Valton

Virvatulede kammitsais

Taimejäänuste turvastumine on keeruliste füüsikalis-keemiliste ja bioloogiliste protsesside ahel, milles juhtivat osa etendavad mitmesugused mikroorganismid. Need toituvad taimejäänustest ja sünteesivad omakorda uusi aineid. Nii tekib soogaas (metaan), mis vahel rabalaugaste juures loitma lööb ning rändureid õigelt teelt kõrvale juhib.

Lähedase koostisega maagaasi eraldub kohati ka järve- ja meremuda lagunemisel. Näiteks Eru lahe ääres Maalahes endise Lahepera talu kohal ja Launiidu kivi juures kogunes gaas Joosep Epliku andmetel sügiseti jääs olevatesse tühimikesse, mille katkitorkamisel väljus sisinal, suurema koguse puhul põles süütamisel sinaka leegiga ja sedavõrd intensiivselt, et jääl kelgutavad ja uisutavad lapsed käinud end seal soojendamas. Mohni saarel aga põlenud kaevu puurimisel eraldunud gaasipilv koguni 6 m kõrguse tulelondina. Kaevu puuriminegi tulnud gaasivoolu tõttu pooleli jätta.

Kust tulevad sellised suured gaasikogused? Äkki on tegemist naftaleiukohtadega, mida ju alati põlevad gaasid saadavad? Naftat on Eestis püütud leida Kolga ning Kopli poolsaarelt, Prangli saartelt, Kunda, Rakvere ja Simuna ümbrusest, Saare- ja Hiiumaalt ning mitmelt poolt Lõuna-Eestis. Need ettevõtmised on lõppenud edutult.

1922. a. 31. mai «Päevalehes» ilmus kõmuline teade, et selleaegse Kaubandus-Tööstusministeeriumi poole olevat keegi Bakuust tulnud naftaspetsialist pöördunud palvega nafta tootmise kontsessiooni saamiseks. Ajaleht lisas, et nafta ja muude maavarade tootmiseks Hiiumaal on loodud 900 000-margase põhikapitaliga osühisus «Dagö». Sõnumile järgnenud kuue kuu jooksul esitasid valitsusele avalduse kontsessiooni saamiseks tervelt 66 era- ja juriidilist isikut.

1922. aasta «naftapalavik» polnud Eestis esimene. Juba 20. sajandi algaastail oli Hiiumaa naftaga seotud huvitavate sündmuste areeniks. Asi sai alguse Vaemla mõisa keldrist, mille laiendamisel 1905. aastal satuti määrideõli taolist ainet sisaldavale pesale. Seda «õli» olevat olnud umbes 200 liitrit. Analüüs näitas õlise aine sarnasust naftaga. Kuid mingeid olulisi samme leiule ei järgnenud. Sündmust hakati juba unustama. Ei unustanud

ainult Vaemla mõisa omanik Gustav von Pahlen. Talle ei andnud rahu mõte, et tema mõisa ümbruses võib olla naftaallikaid. Arhiivis on säilinud dateerimata lepingu projekt (umbes aastaist 1911—1912), mis näeb ette Balti mõisnike 10 000-rublase põhikapitaliga naftaühingu asutamise eesotsas von Pahleniga. Peagi alustati puurimistöid, mis lõppesid uue leiuga Raikküla lademe kivimeist; 18—20 m sügavuses avastati taas naftat, mille kohta täpsemad analüüsid puuduvad. Kurjad keeled rääkinud, et kavalad hiidlased ise petrooleumi puurauku kallanud, et mitte tasuvast töötsast loobuda. 1914. a. puuriti Vaemlas kokku 343 jalga, s. o. pisut üle 100 m, ja maksti selle aja kohta suur summa, 3670 rubla. Nafta otsimise kõige põnevama etapi Eestimaal lõpetas alanud Esimene maailmasõda.

Nafta naftaks, aga gaas üllatab Eestimaal inimesi endiselt. 1970. a. teatati ENSV Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituuti, et Tõstamaa kalatehase puurkaevust eraldub koos veega põlevat gaasi, kord vähem, kord rohkem. Puhkepäevadel, kui tehas ei töötanud ja vett ei kasutatud, kogunes gaasi torustikku nii palju, et veekraanide avamisel tungis see pahiseva joana välja. Sealgi oli maagaasi peamine põlev komponent metaan.

Samalaadseid teateid on tulnud korduvalt nii Lõuna- kui Põhja-Eestist (Sangastest, Püssist j. m.), kuid ükski neist pole suutnud varjutada Keri (varem Kokskäri) saare sensatsioon. 1902. aastal satuti saarel majaka lähedal kaevu puurimisel 27 m sügavusel nii võimsale gaasijoale, et see paiskas kive ja liiva isegi puurtornist kõrgemale. Kui gaas süüdati, lahvas see põlema rohkem kui 8 m kõrguse sambana, mida paljud tallinlasedki imetlemas käisid.

Mitu aastat jooksis gaas kasutult, kuni nupukad mehed 1906. aastal puuraugule ventiili peale keerasid ning gaasi majakat ja valvuri eluruume valgustama sundisid. Toitugi keedeti maagaasil. Kokku tarbiti gaasi viie aasta jooksul üle miljoni kuupmeetri. 1912. a. kevadel hakkas aga puurauk mõirates liiva ja kive välja purskama ja maa augu ümber vappuma, kuni ühe tugevama tõuke järel gaasipursked lakkasid hoopis.

1924. a. avastati maagaas ka Suur-Prangli saarel. Pärast Teist maailmasõda puuriti seal mitu puurauku, millega tehti kindlaks kolm gaasi sisaldavat taset. Kuna gaas oli suure surve all, siis paiskas ta puurimise käigus välja liiva ja kive ning lükkas isegi puurvardad üles. Et Suur-Pranglilt on teada orgaanikarikkaid jäävaheaja setteid ja ka kõik ülejäänud suuremad gaasiilmingud on seotud kas sügavate mattunud orgudega või siis vähemalt kohtadega, kus kvaternaari setted on märkimisväärselt paksud, ei tohiks olla kahtlust, et gaasi allikaiks on liustikutekkeliste setete alla mattunud turvas ja sapropeel.

*Me oleme kogu aeg kuhugi teel,
kuhugi nii vana poole, et see on
uus.*

Pentti Saarikoski

Rauaotsijate rajad

Salakavalad sootulukesed on juba iidsetest aegadest tähistanud aarete leiukohti. Troostitute samblaväljade ja ohtlike laugaste vahele minema ei ajendanud aga meie kaugeid esivanemaid mitte rahapaja otsingud ja turbaleiukohad, vaid raua vajadus. Seda kulus kõikjale, küll töö- ja tarbeesemete, küll tapariistade ja ehete valmistamiseks. Rauda vajati rohkem kui kauba- ja sõjaretkedelt kaasa toodi. Ja siis pöördusidki pilgud soiste alade poole, kus rauarikkast põhjaveest humiainete lagunemise ja nende kontsentratsiooni vähenemise tagajärjel sadestus kohati hulgaliselt soorauda.

Karjalas ja mujal naabermaades pakkus rohkem huvi raua poolest rikkam järvemaak, kuid Eestis oli seda tootmiseks liiga napilt: leitud kamakate, kuulikeste ja läätsedena ainult üksikutes järvedes, näiteks Vagula järves. Heinrich Riikoja kirjeldatud 4,5 ja 5 m sügavuselt leitud kahe mugula (läbimõõduga 82 ja 102 mm) keskmine rauasisaldus oli 49,95%, millest raua saamine olnuks üsna hõlpus, kui maaki rohkem leidunuks. Toome võrdluseks, et 1861. a. olevat Rootsis järvemaaki raua tootmiseks varutud 11 539 tonni.

Võimalik, et kõik järvemaagi leiukohad pole meilgi arvel, sest järvedesse suubuv põhjavesi on paljudes kohtades rauarikas ja võis soodsates tingimustes kohalikeks vajadusteks vabalt raualäätsi vormida. Leili Saarse uuringud Illuka järvedel näitasid, et Räätsma ja Rääkjärve põhjasetetes oli rauasisaldus paiguti küllalt suur, vastavalt 34% ja 27%, mis viitab järvemaagi esinemisvõimalustele rauarikaste allikate suubumiskohtade läheduses. Olgu lisatud, et Räätsma järve põhjavees on allikate läheduses mõõdetud rauda kuni 9,0 mg/l.

Järvemaaki tasub otsida ka soid läbinud rauarikka veega jõgede suubumiskohtades. Järvemaagimugulaid on näiteks leitud Peipsi järvest Omedu jõe suudmealalt.

Soomaagi leiukohti on tänu Eesti NSV Looduskaitse Seltsi aktivistidele praegu teada rohkem kui poolsada. Innukad kodu-uurijad Oskar Raudmets, Arvi Lauringson jt. koondasid kogu

teadaolnud varasema andmestiku ning süstematiseerisid uudismaade harimisel ja ehitustööde käigus ilmsiks tulnud uued leiud. Häid algandmeid selleks tööks andis Keele ja Kirjanduse Instituudi kohanime kogu, sest nimed Rauasoo, Rauaniidu jt. juhtisid enamasti kohtadesse, kust soomaaki on leitud. Mitmetele leidudele viisid ka paljud «vere»-lõpulised kohanimed. Laekvere külas Pandivere kõrgustiku äärealadel juhtis uurijaid soomaagile «Alg-Kalevipoja» V lugu, sest sealseist allikaist kraavi immitsevat rauapunakat vett pidas rahvasuu Kalevipoja tapetud hobuse vereks. Maaki aitas leida ka loodusnähtuste jälgimine. Näiteks juhtis Alutaguse metsavaht uurijad rauarikkale kohale Roostoja läheduses, kuhu välk muudest paikadest sagedamini sisse sähvis.

Paljudes kohtades on leitud muistsete rauasulatuskohade rauräbu, puusöe jäänuseid ja savikollete asemeid, mis kinnitab, et kohalikku rauda tööpoolest ulatuslikult kasutati. Et selgitada, kuidas see võis toimuda, tegid Eesti looduseuurijad 1978. ja 1979. a. vastavad katsed. Valmistatud katseseadmehel nad näitasid, et sõltuvalt soomaagist, kasutatud puusöeliigist ja protsessi intensiivsusest võisid meie esivanemad primitiivsete vahenditega saada väga erineva koostisega rauda, sealhulgas isegi mitmeid terase-sorte.

Teadaolevail andmeil kasutati kohalikku soorauda alates 1.—2. sajandist kuni 17. sajandi lõpuni. Praegu on soomaagi ja selle kasutamise kohta rohkem andmeid Tallinna ümbrusest, Lahe-maalt, Alutaguselt, Saaremaalt ja Jõgeva kandist, vähem Lõuna-Eestist. Kuid on väga võimalik, et selle põhjuseks on põhjapoolsemate kodu-uurijate hoolsam töö. Rauarikaste vete kujunemiseks on Lõuna-Eesti devoni liivakivid ja punakaspruun moreen ilmselt veelgi parem lähtematerjal kui karbonaatne aluspõhi ja hall moreen. Proovide mikroskoopiline uurimine kinnitab, et liivakivides ja punakaspruunis moreenis on enamik mineraaliteradest kaetud õhukese raudoksiidide ja -hüdroksiidide kelmega ja ka sealsed põhjaveed on rauarikkamad.

Eesti sooraud on juba silmaga nähtavalt väga erineva lasumuse ja koostisega. Seda on tinginud maa-ala reljeef, vee liikumistingimused, pinnase lõimis ja esialgne rauarikkus, orgaaniliste ainete küllus ja koostis ning teisedki asjaolud. Tegurite soodsal koosmõjul kujunevad paksemad ja rauarikkamad kihid, vastasel korral moodustuvad ainult raudoksiidide ja -hüdroksiidide kiled ja koorikud. Suuremad rauakogumikud kuhjuvad meil kas pudedas rauaookrina või läätsja nõrgkihina. Enn Pirruse andmetel on nii raud kui ka lisandid maagis amorfsel kujul ja pole vaata-mata pikaajalisele lehamisele maapinnal kristalliseerunud. Head soomaaki oli harva. Enamasti oli raudoksiidi sisaldus nähtavasti 20—30% vahemikus, kuid see võib ulatuda kuni 60%-ni. Näiteks

Tallinna «Kalevi» auto-motoklubi tagusel Vana-Heinamaal oli 1,5 m paksuses kihis raudoksiidi sisaldus kuni 57%. Vahel on maagis hulgaliselt mangaani. Näiteks Viitna Rauasoos on määratud lisaks ootuspärasele rauasisaldusele (34,69% Fe_2O_3 ja 0,37% FeO) 5,5% mangaanoksiidi. Harilikult on maagis ka mõni protsent fosforit.

Raua otsimine ja kasutamine kõnelevad ilmekalt meie esivanemate visadusest ja ettevõtlikkusest. Aga ilma rauast adrata ei oleks kasvanud põlluviljakus ning üksnes rauast kirve abil taandusid tema ees aastasadu mühanud metsad.

*Kõrgete kallaste varjus
voolavad sügavad jõed,
millede põhjas on peidus
vaikivad valed ja tõed.*

Helgi Kauber

Eesti jõgedest

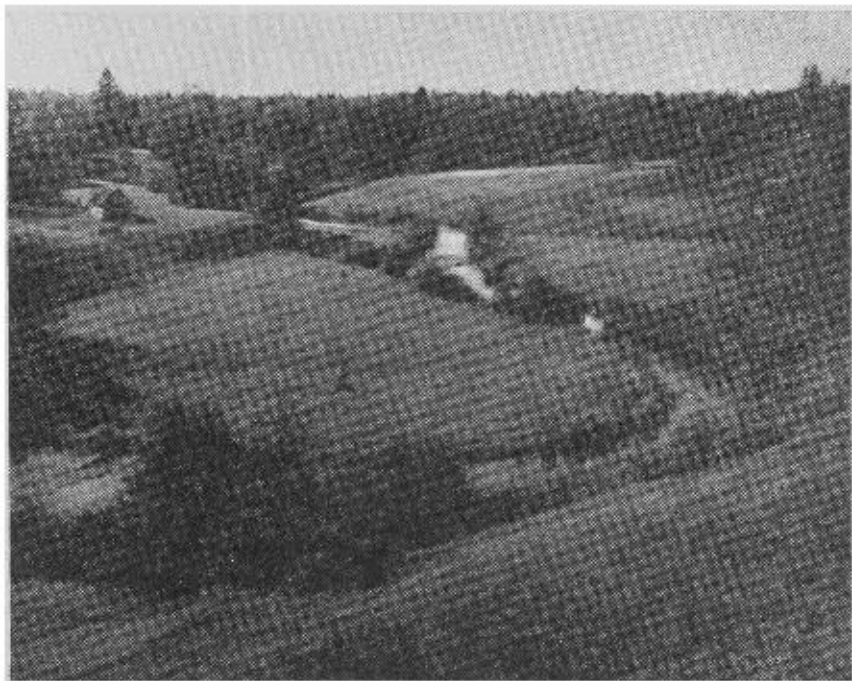
Eestis on 7378 jõge, oja ja magistraalkraavi, mis üksteise otsa lükituna annaksid pikkust 31 153 km. Enamik neist on veevaesed nirekesed, mis suvel mõnikord hoopis ära kuivavad. Üksnes 420 jõge on pikemad kui 10 km ja ainult üheksa pikkus ületab 100 km piiri. Pikim on Pärnu jõgi (144 km), veerohkeim aga konkurent-sitult Narva jõgi, mille minimaalne vooluhulk on suurem kui ülejäänute keskmine vooluhulk kokku. Küllap on ta meie jõge-dest ka kõige kuulsam, olid ju Kreenholmi hüdroturbiinid omal ajal maailma võimsaimad. Narva jõgi on olnud tähtis veetõke suurte sõdade ja rahuaegadegi puhul, Narva juga oli aga meeli-kõitev vaatamisväärsus.

Paljuülistatud Suur Emajõgi on pikkuselt alles seitsmendal kohal ja kui ta millegi poolest silma paistab, siis erakordselt väi-kese langusega, ainult 0,04 m/km kohta, millega on Eestimaal kindlalt esikohal. Kaheldav on aga, kas seda saab väärtuseks lugeda, pigem on põhjust kiita suurima langusega (2,24 m/km) kaunist Piusa jõge, mille lähte ja suudme kõrguste vahe on 207,9 m.

Kobedat settematerjali kannab voolav vesi jõesängis edasi kas veeretades või hõljumina, sõltuvalt vooluhulgast ja -kiirusest. Viimast dikteerib aga voolusängi lang. Seepärast näemegi Suures Emajões ainult peeneteralisi setteid ja enamasti pole tal õiget orgugi kujunenud.

Jõesängis voolav vesi uuristab nii kaldaid kui ka põhja. Toi-mub külje- ja põhjaerosioon. Esimene laiendab, teine süvendab jõesängi. Viimast tegevust hakkab pikapeale pidurdama ero-sioonibaas, pind, millest sügavamale jõgi sängi enam uuristada ei saa. Erosioonibaasiks võib olla meri, järv või peajõgi, kuhu vaadeldav jõgi suubub. Erosioonibaas võib aegade jooksul muu-tuda.

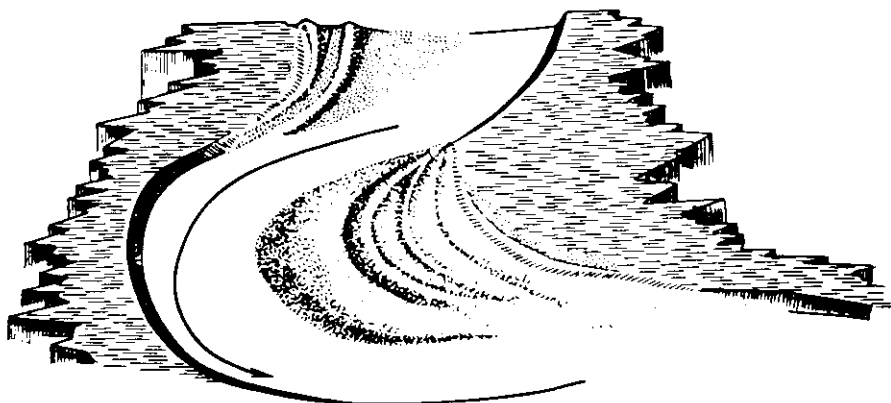
Veenirekesed ei voola kunagi sirgjooneliselt, vaid jälgivad madalamaid kohti. Nii kujunevad pinnasesse looklevad uurred, mis veehulga suurenedes sügavnevad ja oruloogeteks laienevad. Oru laienedes kujuneb selle piires looklev jõesäng sängilooge-



*Joonis 99. Selja jõe alamjooksu lammorg terrasside ja sängilooetega. Avo
Miideli foto.*

tega (joon. 99). Väikese langusega aladel sängilooked üha laienevad ja lähenevad üksteisele, kuni jõgi suurveega leiab lõpuks otsema tee, murrab lookest läbi ja kujundab uue sängilõigu. Vanad jõelooked jäävad maha sootidena, kust vesi ainult suurveega läbi voolab. Meie tasandikujõgedel leidub sadu soote. Soodis kuhjunud jõesetteid nimetatakse soodiseteteks, jõesängis kuhjunud setteid aga sängiseteteks. Sängisetete kuhjumine algab looke siseküljelt ja liigub väliskülje uuristumisel viimase jälil (joon. 100).

Suurveega väljub jõgi sängist ja ujutab kaldad üle, setitades sinna vooluga kaasaskantava peeneteralise settematerjali. Suurveega üleujutatavat jõeoru osa nimetatakse lammiks, seal kuhjuvaid jõesetteid aga lammiseteteks. Kõige jämedam materjal settib kohe jõe kaldale ja moodustab kaldavalle. Need mõne meetri kõrgused jõe katkendlikult või pidevalt ääristavad lamedad vallid takistavad tulvavete tagasivalgumist jõesängi ja põhjustavad ajutiste lammijärvede esinemist.



Joonis 100. Sängisetete kuhjumine jõeorus algab looke siseküljelt ja liigub väliskülje uuristumisel selle jälil.

Lammi laius sõltub oru laiusest ja veerude kujust. Laugevee-rulistel ja laiadel orgudel, nagu näiteks Suurel Emajões Võrts-järve ja Tartu vahemikus, on lamm kohati üle kilomeetri lai. Sellistel laiadel lammidel toimub soostumine, sest pikaajaline üle-ujutus tingib lammipinnase liigniiskuse.

Eesti jõeorud on väga eriliimelised. Isegi ühe ja sama jõe eri-nevad lõigud võivad kuuluda erinevatesse orutüüpidesse. Eriti sageli leidub meil säng-, mold- ja lammorge, harvem sälk-, kuris-tik- ja kanjonorge.

Sängorg koosneb ainult voolusängist, kus vesi täidab oru pea-aegu pervedeni. Selline orutüüp esineb tasastel aladel, kus põhja-erosioon on väga nõrk. Valdava küljeerosiooni tõttu on säng-orud väga looklevad. Sälkorg on sängorust sügavam ja järskude veerudega. Vesi täidab ainult osa orust. Sälkorud tekivad suure langu ja kiire põhjaerosiooniga aladel, eeskätt mägedes. Eriti sügavaid sälkorge nimetatakse kuristikorgudeks, nende sügavus ületab laiuse paljukordselt. Ka Eestis on kuristikorge, näiteks Keila ja Jägala jõel allpool juga ning Meeksi ojal Vastseliina asunduse juures enne Piusa jõkke suubumist. 10–12 m sügavuses orus voolaval veel on seal lang 16 m/km.

Järskude veerudega orgu, mille põhja jõesäng täielikult ei hõlma, nimetatakse kanjonoruks. Kanjonilaadseid orulõike on Narva, Valgejõe (joon. 101), Kunda, Piusa ja Võhandu jõel.

Kõikjal Eestis leidub moldorge, kus looklev säng haarab oru põhjast üksnes väikese osa. Selline oru kuju peegeldab külje-



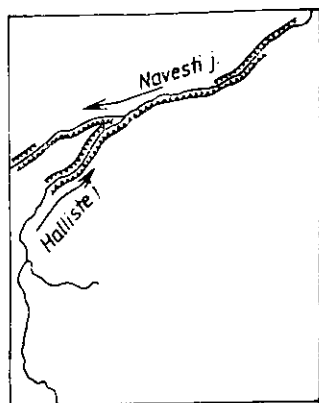
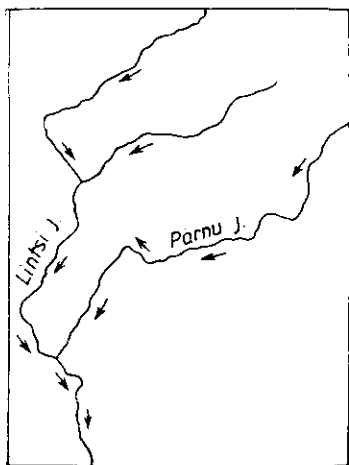
Joonis 101. Kanjonorg Valgejõe alamjooksul. Avo Mildeli foto.

ja põhjaerosiooni vahel valitsevat tasakaalu. Sageli on tegemist vanade liustiku sulamisvee orgudega, kus praegu voolavad jõed on oma eelkäijatest palju veevaesemad.

Kui küljeerosioon saavutab põhjaerosiooni ees ülekaalu, kujuneb moldorust lammorg. Erosioonibaasi madaldudes lõikub jõesäng sügavamale ja endisest lammist kujunevad terrassid, mileni suurvesi enam ei ulatu (joon. 99). Terrassid esinevad rõhtsate või jõe suunas kallakute pindadena kord ühel kord teisel kaldal, kusjuures nende arv kummalgi oruveerul võib olla erinev. Eesti jõeorgudes on terrasse, mis paiknevad kuni 7 eri tasandil. Põhja-Eestis ühtivad need Läänemere endiste veetasemetega, Peipsisse suubuvatel jõgedel aga kajastavad järve veetaseme muutusi.

Eesti jõevõrk on noor, selle kujunemist on mõjustanud peamiselt aluspõhja pealispinna morfoloogia ja tektooniline ehitus, mandrijää kujundatud reljeef, mere ja suurjärvede järkjärguline taandumine ning maakoore tektooniline kerkimine. Jõgesid on meil üsna tihedalt. See on tingitud sademeterohkusest ja pindmist äravoolu soodustavast savikate kivimite (viirsavid, liivsavine moreen) rohkusest pinnakattes.

Eesti jõevõrgu korrapärane, loode—kagu- või kirde—edela-suunaline enam-vähem paralleelne paigutus viis uurijad juba



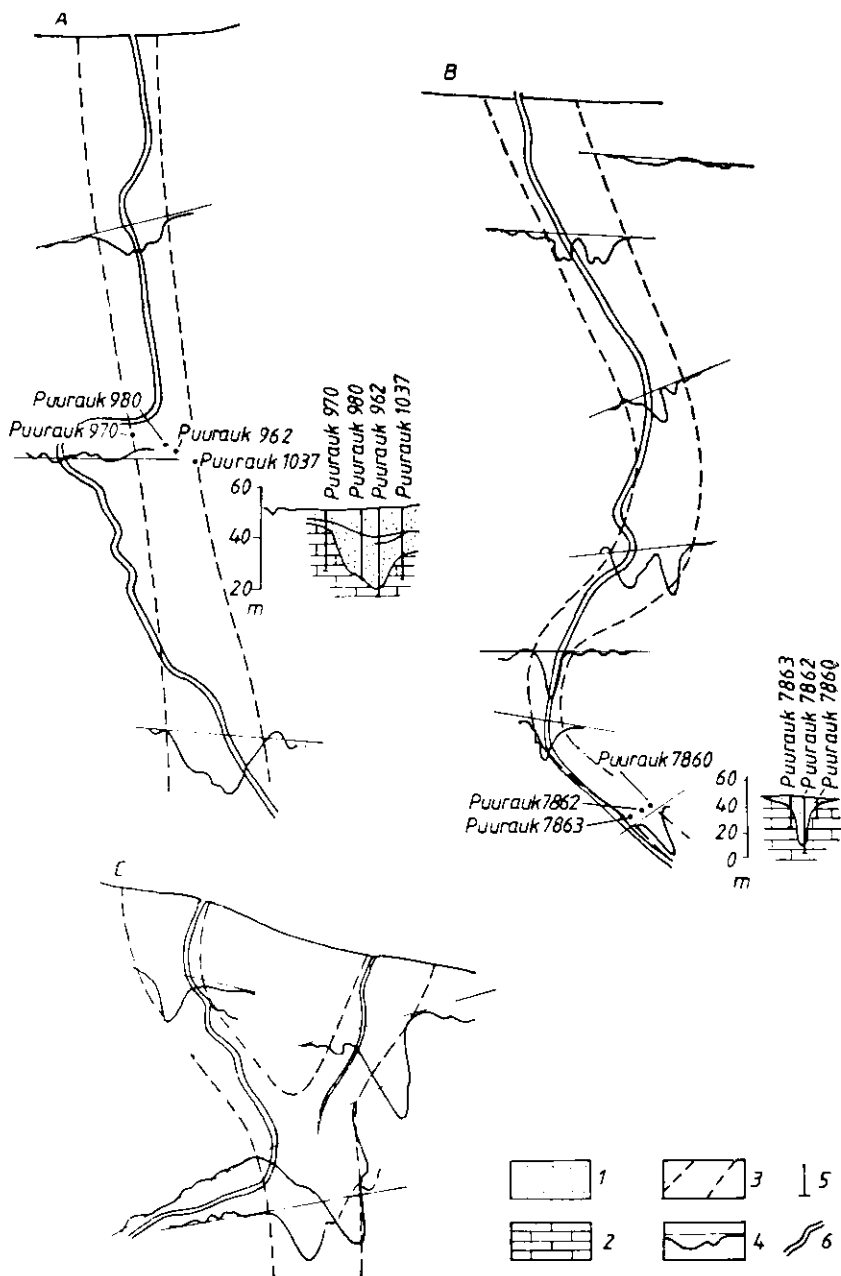
Joonis 102. Jõeorgude enam-vähem paralleelne ja suhteliselt sirgjooneline kulg Pärnu jõgikonnas viitab aluspõhja tektooniliste lõhede mõjule nende orgude kujunemisel.

Joonis 103. Halliste ja Navesti jõe voolusuundade ebanormaalne suhe nende ühinemisel viitab samuti tektoonika mõjule.

ammu mõttele, et põhjuseks võib olla aluspõhja tektooniline lõhe-
 lisus. Tektooniliste lõhede suuna ja sirgete orulõikude jaotuskõve-
 rate võrdlus, mida tegi Avo Miidel, ei jäta kahtlust, et vähemalt
 Põhja-Eestis on jõeorgude suund tektoonilisest ehitusest oluliselt
 mõjustatud. Üsna selge on kirdesuunaliste tektooniliste lõhede
 mõju näiteks Pärnu jõe basseinis (joon. 102). Sellele viitab peale
 jõeorgude enam-vähem sirgjoonelise kirded—edela-suunalise kul-
 gemise ja Pärnu jõe korrapärase pikiprofiili veel basseini eba-
 sümmeetria: rohkete kirded—edela- ja loode—kagu-suunaliste sirg-
 jooneliste jõelõikude esinemine ning voolusuundade ebanor-
 maalne omavaheline suhe Halliste ja Navesti jõe ühinemisel
 (joon. 103).

Lõuna-Eesti jõevõrgu seos tektooniliste lõhedega ei ole nii
 selge. Seal oli nüüdisorgude kujunemisel peamine osa mandrijää
 sulamisveel ja varemkujunenud ürgorgudel. Nagu öeldud, on

Joonis 104. Enamik Põhja-Eesti jõgedest voolab mattunud orgude kohal, sest vanu orge täitvad kobedad setted on kergemini uuristatavad kui kõvad lubja-
 kivid. A — Kunda, B — Purtse ja C — Vasavere org. 1 — kvaternaari setted,
 2 — karbonaatkivimid, 3 — vana oru oletatav kulg, 4 — gravimeetrilised pro-
 fiilid, 5 — puuraugud, 6 — nüüdisorud. (Koostanud Elvi Tavast.) ►



sulamisvee orgudes praegu voolavad jõed oma eellastest palju veevaesemad: sageli voolavad laiades ja kuni 25 m sügavates ürgorgudes väikesed ojakesed.

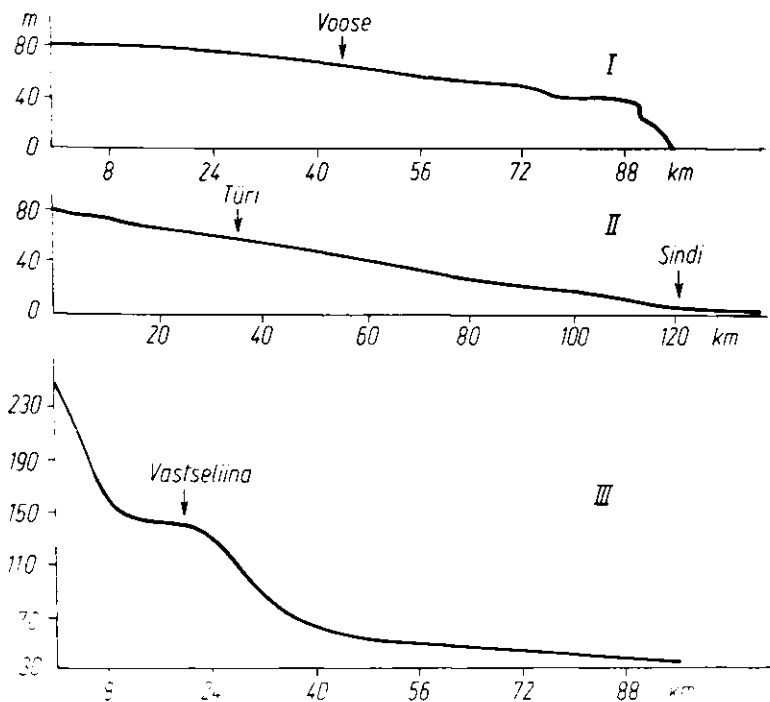
Põhja-Eesti jõgede seos vanade orgudega on keerukam. Enamik neist (näit. Vääna, Valgejõgi, Pada, Purkse jt.) voolab mattunud orgude kohal, sest vanu orge täitvaid kobedaids setteid on jõgedel kergem uuristada kui kõvu lubjakive (joon. 104). Kuid need jõed pole uuristunud kuigi sügavale ja rändavad vahel vanadest orgudest eemale või isegi ristuvad nendega.

Enamik Eesti jõgesid on jääajajärgsel ajal pikenenud, sest mere ja suurjärvede taandumisel maismaa laienes. Erosioonibaasi alanemine suudmealal ja orgude pikenemine allavoolu suunas on iseloomulik kõigi meie maa-alalt Läänemerre ja selle lahtedesse suubuvatele jõgedele. Antsülusjärve ajal ei olnud näiteks ei Keila, Narva ega Jägala juga, Kasari lisajõed Teenuse, Konovere, Päärdu ja Enge suubusid suurjärve igauks omaette. Tänapäevane Kasari jõgikond kujunes välja Limneastaadiumi alguses, Keila juga moodustus arvatavasti Limneamere III faasil.

Oeldust selgub, et ühe ja sama jõe eri lõigud on eri vanusega, kusjuures Läänemerre ja tema lahtedesse suubuvatel jõgedel on alamjooks reeglina väga noor. Kuid noor võib mõnikord olla ka jõgede ülemjooks. Näiteks esinesid Valgejõe ürgorus reliktised paisjärved kuni metsade arengu AT2 faasi lõpuni, Loobu orus aga AT1 faasi keskpaigani (vt. tabel 5). Seejärel murdsid paisjärved mandrijää kuhjatud takistusest läbi ja jooksid tühjaks. Seega puudus Loobu ürgorus tänapäevase Loobu jõe ülemjooks kuni Litorinastaadiumi alguseni, Valgejõe ürgorus tänapäevase Valgejõe ülemjooks aga kuni sama staadiumi keskpaigani. Tüsilik on olnud ka Toolse ja Kunda jõe arengulugu, mida illustreerib joonis 64.

Geoloogilise arengu, pikiprofiili (joon. 105) ja settimise iseärasuste alusel on otstarbekas jagada Eesti jõed kolme rühma: Soome lahte suubuvad, Väinamerre ja Riia lahte suubuvad ning Võrtsjärve ja Pihkva-Peipsi järve suubuvad jõed.

Kõige omapärasemad on esimesed. Kui tavaliselt on parasvöötme jõgedel suurem ülemvoolu lang ja alamvoolu suunas see väheneb, siis meie alalt Soome lahte voolavate jõgede puhul on lugu vastupidine, mistõttu jõgede pikiprofiili kuju on mitte nõgus, vaid kumer (joon. 105, I). Näiteks Loobu jõel Joaveskist suudmeni ulatuva lõigu pikkus on kõigest 8,9 km (16,4% jõe pikkusest), kuid selles lühikeses vahemikus on jõe lang 43,1 m ehk peaaegu pool (47,6%) jõe kogulangust. Soome lahte suubuvate jõgede alamvool on kärestikuline (joon. 101), esinevad joad (joon. 106, 107) ja tugev põhjaerosioon. Sellised nähtused on tingitud paekalda mõjust ning maakoore tektoonilise kerkimise erinevusest jõgede kesk- ja ülemjooksul.



Joonis 105. Eesti jõgede pikiprofiile: I — Jägala, II — Pärnu, III — Piusa.

Suuresti erineva voolukiiruse tõttu on Põhja-Eesti jõgede sängisetted alamjooksul palju jämedamateralised kui ülemjooksul, mis on vastupidine «normaalsetele» jõgedele. Algavad ju viimased enamasti mägedest või kõrgendikelt, kus vool on kiirem kui tasandikel. Orgude noorusest tingituna on jõesetted tervikuna õhukesed, ülemjooksul tavaliselt 0,5–1,5, keskjooksul 3–5 ja alamjooksul kuni 2,5 m. Tuleb veel lisada, et Põhja-Eesti jõgede kesk- ja ülemjooksul on lammisetete osatähtsus märksa suurem kui alamjooksul. Lammisetete kujunemist soodustab seal taas jõgede väike lang, jõe veetaseme ja oru lammi vaheline väike kõrguste vahe ning kohalike erosioonibaaside olemasolu. Alamjooksul madaldub maakoore kiirema kerkimise tõttu erosioonibaas ja põhjaerosioon suureneb pidevalt, mistõttu lammisetete kuhjumiseks pole soodsaid tingimusi.

Väikesest langust ja maapinna tasandikulisest iseloomust tingituna on Põhja-Eesti jõgede kesk- ja ülemjooksul orud nõrgalt



Joonis 106. Kevadise suurvee ajal jätab joaastangust mürinal alla langev ja päikesekiirtes sädelev Keila joa veesein vägagi võimsa mulje. Avo Miideli foto.

välja kujunenud või soo- ja järvetasandikel hoopis puuduvad. Orgude sügavus ei ületa 5—7 m. Harilikult on tegemist lamm- ja moldorgudega. Paekaldale lähenedes orud sügavnevad ja nende põrkeveerud muutuvad järsuks. Paekaldast läbimurde kohal ja joaastangutest allavoolu esinevad kuristik- ja kanjonorud, millest tuntuim on 12—20 m sügavune ja 470 m pikkune Valgejõe kanjon (joon. 101). Suudmelähedasel alal orgude sügavus väheneb taas ega ületa enamasti 4—5 m.

Väinamerre ja Riia lahte suubuvad jõed voolavad mööda tasast ala, on looklevad ja aeglase vooluga. Orud on madalad ja nõrgalt välja kujunenud ning lähevad järk-järgult üle ümbritsevaiks tasandikeks. Suurvee ajal on seal ulatuslikud üleujutused, mistõttu lammisetteid on rohkem kui teistel Eesti jõgedel. Kuna maakoore neotektooniline kerkimine on kogu jõe ulatuses enam-vähem ühtlane, on jõgede pikiprofiil korrapärane ja sirgjooneline (joon. 105, II), setete kogupaksus väike, harilikult paar meetrit.

Lõuna-Eesti kõrgustikelt algavate ja Võrtsjärve või Pihkva-Peipsi järve suubuvate jõgede lang on ülemjooksul suurem kui alamjooksul (joon. 105, III) ning vaheldub kiiresti, sõltuvalt sel-



Joonis 107. Eesti suurtest jugadest on kõrgeim Jägala. Talvel on ta veevaene, kuid tardunud veemassist moodustunud jääpurikatega kaetud pannoo on seal sageli väga vormiderohke. Ago Aaloe foto.

lest, kas jõgi voolab küngastevahelisel järvetasandikul või on murdnud endale tee läbi reljeefitakistuse. Orud on ebamäärased, jõed tugevasti looklevad. Keskjooksul, lavamaa äärealadel on jõed kas vanadele ürgorgudele kohandunud või rajanud sügavad sälkorud. Lamm peaaegu puudub, vool on kiire. Lavamaid ümbritsevaile järvetasandikele üleminekul asendub sälkorg laia moldoruga, jõgede voolukiirus langeb ja looklevus suureneb. Alamjooksul voolavad jõed mööda tasaseid järve- ja sootaseid, vool on aeglane, looked tugevad, orud on ebamäärased või puuduvad.

Et maakoore ebaühtlase neotektoonilise kerkimise tõttu nii Pihkva-Peipsi kui ka Võrtsjärve veed valguvad lõunasse, on paratamatu, et nende järvede lõunaossa suubuvate jõgede erosioonibaas kerkib. See aga tähendab põhjaerosiooni vähenemist või lakkamist ja küljeerosiooni suurenemist, mis põhjustab ka jõe looklevuse suurenemist ja setete kuhjumist. Nii ulatub Võhandu alamjooksul jõesetete paksus 13,5 meetrini.

*Nagu sada valget ratsut
lakkade lehvides hüppamas hüppamas
kabjaraudse joakaare vahust
aurusamba taevassetõus —
piserdus märgistab meidki
me kohtumist pühitseb
Kose kohinasse sõnad südameilt.*

Minni Nurme

Vahutavad veevood

Maailma suurimatest loodusharuldustest kõneldes nimetatakse alati jugasid. Need on tõepoolest suursugused ja maalilised. Joaastangust kurdistava kõuemürinaga alla langeva, päiksekiirtes sädeleva veeseina foonil tunnetab inimene oma mannetust, kiiret veevoolu vaadeldes tekib vastupandamatu soov koos mässava vooga edasi liikuda, temas lahustuda. Grandioosne ja tähelepanuväärne on mitte ainult allalangev veesein, vaid kogu joalähedane jõeorg. Jugadest allpool see enamasti kitseneb mõnekümne või mõnesaja meetri laiuseks kanjoniks, milles kiirevoolulised kärestikulised ja keeriselised veemassid edasi tormavad. Nagu joaastangul, nii kerkib ka kanjonist külm udupilv, mis uudistajat peagi eemale sunnib minema. Päikesepaistelisel päevadel nähtub läbi udupilve kaunis vikerkaar.

Oma reisidel olen näinud palju jugasid, küll Kaukasuses, küll Alpides, Skandinaavia mägedes, Kesk-Aasias, Kaug-Idas. Igal neist on oma kordumatu pale. Seejuures jätab mõnigi madal ja veerikas juga hoopis imosantsema mulje kui tema palju kõrgem, ent vaesem «ametivend». Joa kõrgust inimene harilikult ei tuneta, rohkem lummab teda edasirühkiv veemass. Olen korduvalt olnud turistide meelisjoal Niagaral. Olen näinud teda suvel ja talvel, päeval ja öiste ilutulede valguses, olen sõitnud temani mootorpaadil ja uudistanud juga veeseina tagant, kuid ma ei häbene tunnistada, et peaaegu samaväärse elamuse olen saanud kevadist Jägala ja Keila juga (joon. 106) vaadates. Seitsmekordne kõrgusevahe ei anna seitse korda tugevamat emotsiooni. Ja väikese koolipoisina Narva joast saadud muljeid pole hiljem nähtud palju võimsamad veelangud suutnud ületada.

Raske on vastata, kui palju on Eestis jugasid, sest ei ole selge, kuidas suhtuda kunstlikesse või oma tegevuse lõpetanud jugadesse. Klindijoonelt laskub 22 juga, kokku on jugasid üle veerandsaja, kuid peaaegu pooled neist on inimese arutu tegevuse läbi kas hävinud või hävimisele määratud. Näiteks Sillamäe lin-

nast lääne pool Künnapõhja heinamaalt algav 7 m kõrgune Uku-oru juga sai linna prügi mahapaneku kohaks ja on praktiliselt hävinud. Jõelähtme jõel olnud 2,1 m kõrgune mitmeastmeline juga jäi vesiveski paisjärve alla. Vääna jõel olnud Vahiküla kaskaad jäi uue tehissängi tõttu osaliselt kuivaks. 6 m laiuse ja 1,8 m kõrguse, looduskaitse all olnud Tõrvajõe joa lõhkusid teetruubi remontijad. Hävimisele on määratud ka Hundikuristiku ja Tondi juga Tallinnas Lasnamäe panganeemikul, sest rajatav Oktoobri tee lõikab nad ära toitealast, Sõjamäe ja Tondi rabast.

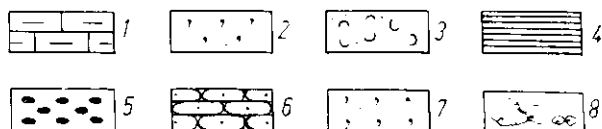
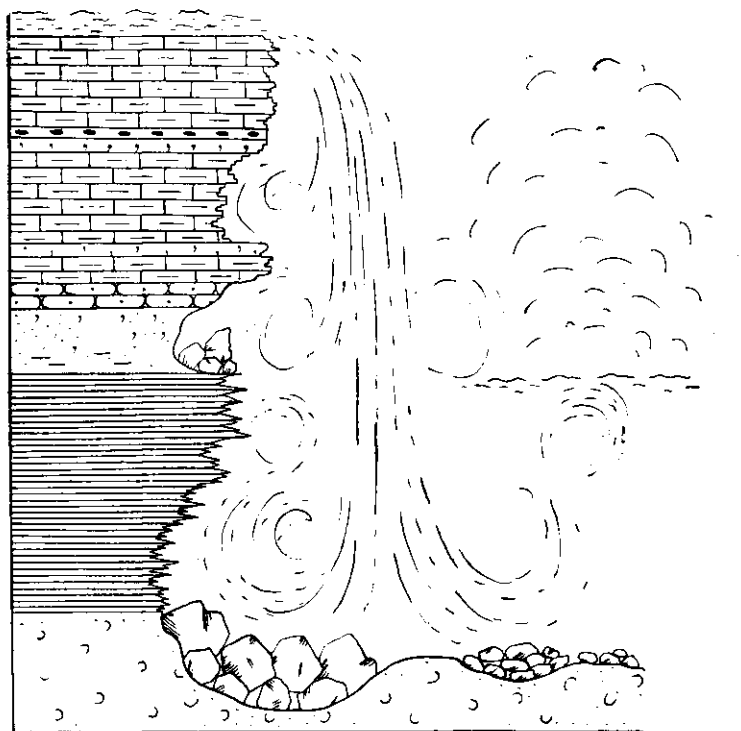
Teeme veel kord tagasipõike Niagarale. Tööstuskeskused tekisid seal ammu enne seda, kui looduskaitseideed kanda kinnitasid. Kuid ometi kasutatavad praktilised ameeriklased ainult väikest osa joa võimsusest, et mitte hävitada veelangu võrratut ilu.

Narvas oli möödanikus kaks juga, läänepoolne oli 3,5 m kõrge ja 60 m lai, idapoolne 100 m lai ja 6,5 m kõrge. Aastatel 1950—1957 tõkestati jõe veevool jugadest ülalpool rohkem kui 200 m pikkuse ja 9,2 m kõrguse tammiga ning voolule rajati kanal. Saadud 125-MW võimsusega hüdroelektrijaam on Balti ja Eesti Soojuselektrijaamade kõrval kääbus.

Kui me Narva jugade hävitamisele ehk veel kuidagi majandusliku õigustuse leiame, siis Saesaare kärestiku ja Ahja oru ühe kaunima lõigu hävitamist ei oska küll kuidagi tarkade otsuste kilda lugeda. Muutus ju Saesaare elektrijaam juba kuue aasta pärast täiesti tarbetuks. Aastatuhandete kestel kujunenud joad ja kärestikud, mis mõtlematult hävitatud, ei taastu aga enam kunagi ning loodusele on löödud korvamatu haav.

Kas siis meie jugasid ei kaitstagi? Loomulikult kaitstakse! Üksikelementidena kuuluvad riikliku kaitse alla Narva, Keila, Jägala, Langevoja ja Treppoja. Kaitsealade koosseisus on Joaveski, Vasaristi, Nõmmeveski, Karjaoru ja Valaste. Kohaliku kaitse all on Aluoja juga. Uhaku jääb samanimelise karstiala ja Linnamäe kaitstava Padaoru piiresse. Näiliselt kaitstud oli ka Kadrioru pargis olev Hundikuristik. Kuid tegelikult pole vist jugade hävitamise ja reostamise eest kellelegi veel trahvigi määratud.

Joad jagatakse konsekvantseteks ja subsekvantseteks. Esimesel juhul langeb jõgi järsakust, mida ta pole ise loonud. Teisel puhul on jõgi esialgu nähtamatud aluspõhja ebatasasused ja vastupidavamad kihid välja uuristanud ja loonud eeldused joa tekkimiseks. Meie joad kuuluvad esimesse rühma, sest paekalda näol on loodus jõgedele valmis hüppelaua andnud. Väiksemad jõed ja ojad pole suutnud paekalda servi kuigi oluliselt närida, kuid suuremad joad taanduvad üsna kiiresti. Taandumise kiirus pole küll võrreldav Niagara Kanada-poolse, Hoburauajoa omaga (ajavahemikus 1842—1905 keskmiselt 1,28 m/a.), kuid on ometi



Joonis 108. Jägala joaastang koosneb Latorpi, Volhovi ja Kunda lademe kihtidest. Astangu ülaosa moodustavad uuristusele vastupidavad lubjakivid, mille alla jäävad palju pehmemad liiva- ja kiltkivid. Viimaseid langev vesi ründabki, õõnestades joaastangu alla kulpaid. Joast sõostev vesi uuristab jõepõhja sügava lohu. 1 — savikas lubjakivi, 2 — glaukoniitliiv, 3 — oobolusliiv, 4 — diktüoneemaargilliid, 5 — raudooidid, 6 — liivakivid, 7 — rohked glaukoniiditerad, 8 — astangust lahtmurdunud kivimitükid. (Lembit Põlma andmeil koostanud Elvi Tavast.)

möödetav. Aadu Kumari andmeil on näiteks Keila juga 1862. aastaga võrrelduna praeguseks nihkunud 11 m võrra vastuvoolu. Saja aasta kohta teeb see 9,7 m, aasta kohta aga 9,7 cm. Klooga maanteeni jõudmiseks peab juga veel vähemalt 27 sajandit palehigis töötama. Jägala joa taandumise keskmiseks kiiruseks on 17,3 m sajandis. 243 aastaga (1688—1931) taandus juga 42 m.



Joonis 109. Treppojal jaotub joa kõrgus kaheteistkümnele astangule. Avo Mii-
deli foto.

Mitte kõik joad pole purustavad ehk destruktiivsed. Leidub ka loovaid ehk konstruktiivseid jugasid, mille astang võib näiteks koosneda jõeveest sadestuvast nõrglubjast. Eestis seesuguseid ei esine. Ka pole jugasid kõigil paekallast ületavatel jõgedel. Osa neist on uuristanud paekalda läheduses sügavaid puhandusorke, sest nad jälgivad seal vanu kobedate setetega täitunud orke (Purtse, Kunda, Pirita, Pühajõgi jt.). Harvem, näiteks Sõtke jõel, on noored sügavad puhandusorud lõikunud aluspõhjakiivimitesse ja joaastangu asemel on neis kujunenud kärestikud.

Destruktiivsete jugade purustav toime on eriti suur kohtades, kus kõvade kiivimite (näit. lubjakivide) all paiknevad pehmemad kilda- ja liivakiivikihid. Nii on see peaaegu kõigi Eesti suuremate jugade puhul, erand on üksnes Narva juga. Neid pehmemaid kiivimeid langev vesi ründabki, uuristades joaastangu alla kulpaid, mille kohal räästana etteulatuva lubjakivikihi aeg-ajalt alla vee meelevalda varisevad (joon. 108).

Joast alla sööstev vesi uuristab jõepõhja sügava lohu. Seetõttu on joaastangu kõrguse määramine raskendatud. Ebaõige oleks seda hinnata veepiirist, sest veetase on jões eri aastaajadel erinev, segab ka joaesine süvend. Jägala joal olevat joa lan-

gemise ja tugevate keeriste tõttu parema kalda alla tekkinud kuni 6 m sügavune süvend. Arvus on küll põhjust kahelda, kuid pöörleva vee jõust annavad tunnistust augu põhjast väljapaisatud suured kivitükid.

Paljud joad on astmelised. Astmete kõrgus ja profiil muutub jõesängi ulatuses. Seegi raskendab kõrguse mõõtmist. Meie kõige kõrgemate jugade Valaste (üle 20 m) ja Karjaoru ehk Saka (umbes 20 m) kõrguse täpseks määramiseks pole seni leidunud hakkajaid julgeid mehi, kel oleks vajalikult head turnimisoskust. Oma õiget nägu näitavad need joad ainult kevaditi, millal kõrgest paekaldast alla paiskuv vesi tormab vahutava mägiõena üle rusu-kalda merre, suvel on aga mõnikord täiesti kuivad.

Suurtest jugadest on meil rekordimees Jägala juga, mille 70 m pikkune astang veevaesel ajal ilma veealuse osata on keskmises osas 7,2 m, servaaladel aga 7,5—7,8 m kõrge (joon. 107).

Üle 5 m on lisaks nimetatuile Narva juga (6,5 m), Keila juga (5,5—6,0 m), Hundikuristik (5,6 m), Treppoja (5,6 m), Langevoja (5,2 m) ja Aluoja (5,0 m). Seejuures jaotub toodud kõrgus Treppojal kaheteistkümnenele (joon. 109), Aluojal viiele ja Hundikuristikus kolmele astangule, mistõttu nad veevaesel ajal pole just eriti imposantsed. Jugade ilu tuleb nautida kevadise suurvee ajal, eriti siis, kui osa jõest on veel jääga kaetud. Kaunid on joad ka talvel, kui tardunud veemassidest moodustub päikese käes sillerdavad jääpurikatega kaetud vormiderohke pannoo (joon. 107).

Kui praegu ei lange vesi Eestis suuremates hulkades kusagil rohkem kui 6—8 m kõrguselt, siis jääajaeelsel ajal oli pilt paekaldal hoopiski meeleolukam. Soome lahes voolanud Ürg-Neeva poole viskusid paekaldalt alla kuni kümme korda kõrgemad ja palju veerikkamad jõed ning Eestimaaigi olid oma Niagarad, sest selliseid hiidjugasid oli rohkem kui üks.

Salajõed ja karst

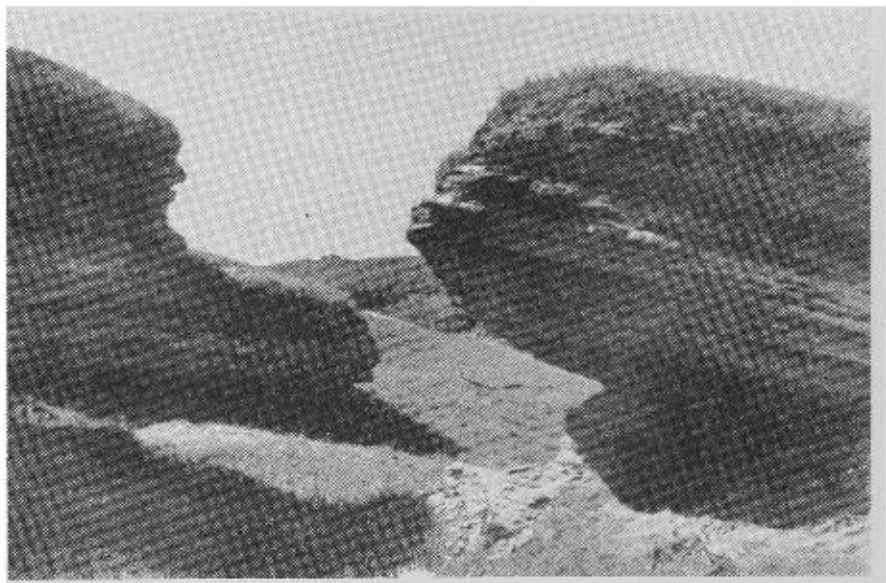
Sademeteh rohkus ja vees keemiliselt kergesti lahustuvate lõheliste karbonaatkivimite ulatuslik levik on Eestis tinginud arvukate karstivormide tekkimise. Need pinnavormid esinevad enamasti lehtritaoliste, põhiplaanis munaja kujuga kurisutena, mille läbimõõt ulatub 20—30 meetrini, sügavus aga kuni 10 meetrini. Kurisud neelavad kevadised sinna kogunevad sulamisveed, mis kuskil kaugemal ilmuvad taas allikatena maapinnale. Suvel on kurisud enamasti kuivad. Silmapaistvamaid kurisuid on kurisu Hageris, Kolju kurisu Nissi lähedal, Kurisu kurisu Hiiumaal Kurisu külas, Lepakõrve ning Kudemaa kurisud Mustjala lähedal Saaremaal. Kurisud esinevad tavaliselt üksikuina, harvem rühmiti või ulatusliku karstialana.

Kõige huvitavam karstinähtus on tervete ojade või jõgede maa alla kadumine, nn. salajõgede moodustumine. Viimaste pikkus ulatub paari kilomeetrini, mille järel vesi allikatena taas päevavalgele ilmub ja edasi juba mööda maapealset voolusängi voolab. Salajõgede kohal on mõnikord jälgitav kuiv voolusäng, mis kevadise suurvee ajal ja tugevate vihmade järel kannab edasi neid vooluhulki, mis ei jõua lõhesid pidi maa alla kaduda.

Salajõega on näiteks seotud kevadel tormitsev Vasaristi juga, mis suvel on täiesti kuiv. 300—400 m Valgejõe—Loksa maanteest läände kaob Vasaristi oja maa alla ning väljub uuesti otse joa juures, muidugi üksnes siis, kui vett jätkub.

Harilikult on salajõed seotud ulatuslikumate karstialadega. Meie suurim ja tuntuim on kahtlemata Kostivere karstiala Harju rajoonis Kostivere sovhoosile kuuluval loopealsel (joon. 110). Karstiala algab Jõelähtme jõe neeldumiskohaga. Jõgi valgub suurde vannitaolisse kurisusse, kust ta mööda maa-aluseid kanalikesi liigub Jõelähtme suunas. Maapinnale ilmub jõgi suurte allikatena Jõelähtmes, põhja pool vana Narva maantee silda.

Karstialal silmale avanevad vormid on kujult ja suuruselt väga erinevad, esinevad kas üksikult, vähemate rühmadena või isegi tervete langatusaladena. Suurim viimastest asetseb keset karstiala, umbes 1,5 km Tallinna—Leningradi maanteest lõunas kahe langatusoru liitumiskohal ja on ligikaudu 100-m läbimõõduga. Seal esineb kuni 5 m sügavusi laiud lõhesid, kulpaid, tunne-



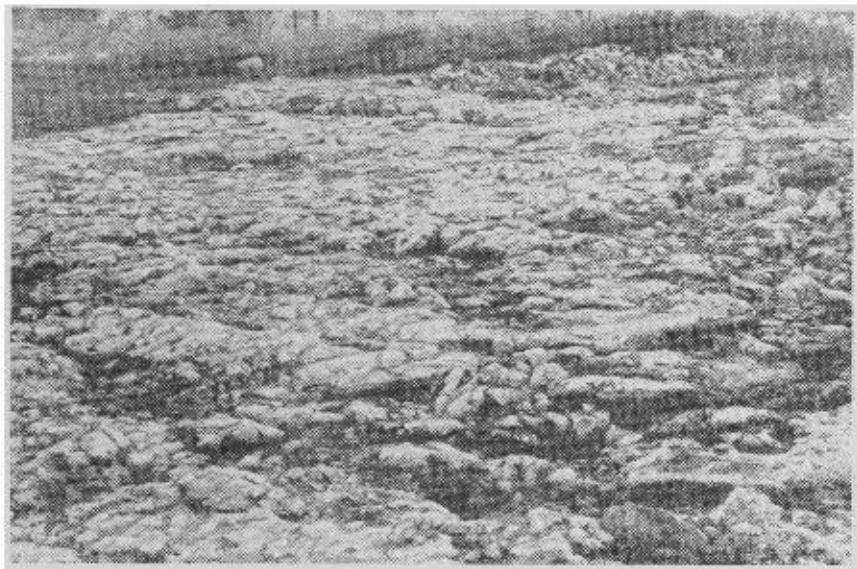
Joonis 110. Eesti suurim ja tuntuim karstiaala on Kostivere, mis algab Jõelähtme jõe neeldumisega. Seal leidub lõhesid, kulpaid, tunneleid ja langatuslehtreid. Ago Aaloe foto.

leid ja langatuslehtreid. Eriti kaunis on langatusala põhjal asuv 2,8 m kõrgune seenekujuline jääksaareke. Kõikjal nähtub, et karstivormid on põhiliselt kujunenud piki tektoonilisi lõhesid, mille võrk läbib lubjakivikihte.

Pinnakate on Kostiveres väga õhuke (10—30 cm) või puudub hoopis, tegemist on kamardunud ja osaliselt ka palja karstiga, mida Eestis esineb harva.

Paljast karsti kohtame paepealsetel ehk alvaritel. Palja karsti iseloomulikud pisivormid on karrid, mõnekümne sentimeetri sügavused augud, lohud ja vaokesed, mida eraldavad kõrgemad tasased pinnad, kühmud ja harjakesed (joon. 111). Karride korrapäratu kuju muudab kivimi pinna konarlikuks. Augud ja lõhed on tekkinud kivimi kergemini lahustunud kohtadesse. Mandri-Eesti kõige ulatuslikum karriväli on ligikaudu 1 ha suurune ja asetseb Rapla rajoonis Pae külas. Karrilaadseid moodustisi võib kujuneda ka merevee lahustava toime tõttu, nagu näiteks Vilsandil ja Vaika kaljusaartel (joon. 76).

Kohtades, kus lahustuvaid karbonaatkivimeid katavad kobedad setted, on tegemist kaetud karstiga ehk vene tüüpi karstiga. Karstivormid on seal mõnevõrra teistsugused. Maa-aluste voolu-



Joonis 111. Palja karsti iseloomulikud pisivormid on karrid — mõnekümne sentimeetri sügavused augud, lohud ja vaokesed, mida eraldavad kõrgemad tasased pinnad, kühmud ja harjekesed. Anto Raukase foto.

kanalite kohal paiknevates lehtrikujulistes langatusvormides ei näe me aluspõhja kivimeid, sest need on kattunud varisenud pinnakattekihtidega. Selline on näiteks Uhaku karstiala Lügause lähedal (joon. 112), mis algab Erra sovhoosi lähedal piki Erra jõe sāngi esinevate lehtri- ja vannikujuliste neeldumiskohtadega. Karstivormides neeldunud vesi suubub maa-aluseid teid pidi Purtse jõkke või väljub vahetult enne jõkke suubumist allikatenä. Jõe maa-aluste teede kohad on maapinnal langatuslehtrite ridadena hästi jälgitavad. Viimaste sirgjooneline paiknemine viitab sellele, et maa-alune vooluvesi kulgeb piki tektoonilisi lõhesid.

Tähelepanuväärne on ka Rapla rajooni Kuimetsa karstiala, mis paikneb Kose—Kuimetsa tee ääres umbes 1,5 km Kuimetsast kirdes metsastunud ja õhukese pinnakattega paekõvikul. Sealseid karstivorme iseloomustavad rohked piklikud langatuslehtrid ja lohud kunagise maa-aluse jõe voolukanalite sisselangemise kohtades. Langatusvormidesse avanevad madalad ja kitsad maa-alused käigud ja koopad.

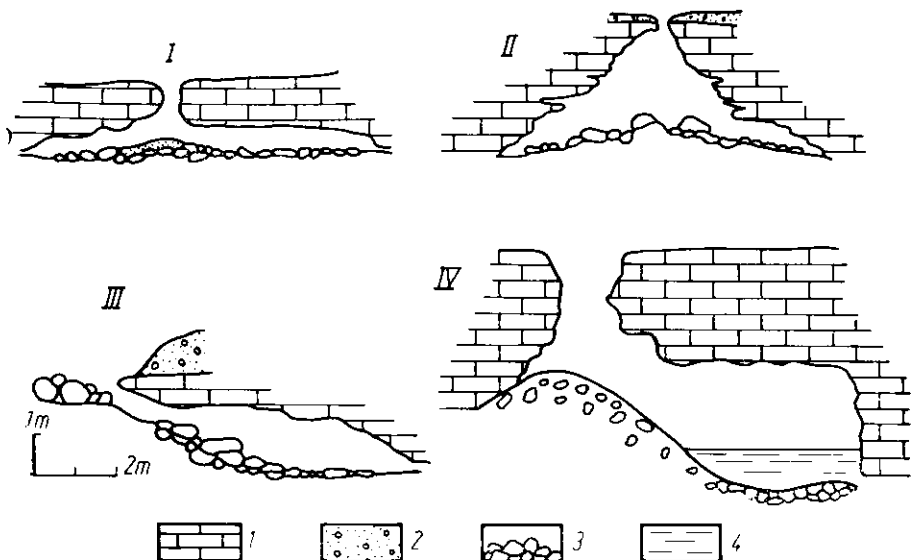
Oma kujult (joon. 113) ja suuruselt on koopad erinevad. Piki-
mad (26 m) on lida urked, kõrgeimad (4,4 m) Kata koopad, süga-



*Joonis 112. Langatuslehtrite rida Uhaku karstialal tähistab maa all voolava Erra jõe kulgu. Langatuste sirgjooneline paiknemine viitab sellele, et maa-alune voolu-
vesi kulgeb piki tektoonilisi lõhesid. Ago Aaloe foto.*

vaimad aga Kata (6,8 m) ja Pudivere (6,5 m) koopad. Kokku on meie teenekaim karstiuuriija Ulo Heinsalu kirjeldanud 24 Eesti karstikoobast 11 karstialal. Meie koobastes saab liikuda ainult kükakil või küürakil, kuid rahvapärimuste järgi on neid (näiteks Iida urkeid) Eesti muistse vabadusvõitluse ja hilisemate sõdade ajal pelgupaigana kasutatud.

Karst esineb Eestis kõikjal, kus levivad karbonaatkivimid, kuid ta esinemistihedus pole kaugeltki ühtlane. Eelistatud on nähtavasti teatud lademetete (eeskätt Aseri, Lasnamäe, Rakvere, Nabala, Vormsi, Pirgu, Porkuni, Juuru, Raikküla, Jaagarahu ja Paadla) kivimid. Meie silmapaistvamatest karstivormidest on Kostivere seotud Lasnamäe lademe lubjakividega, Kolju—Riisipere, Kuivajõe ja Katajõgi Vormsi lademe kivimitega, Salajõgi, Kadaka ja Aravete Pirgu lademe, Palamulla, Kaarma ja Avispea—Uniküla Juuru lademe Tamsalu kihistu, Pae ja Kuksema Raikküla lademe kivimitega. Puhastes lubjakivides ja dolomiitides on karstivormid rohkem levinud ja paremini välja kujunenud, kuid on ka erandeid. Olulist osa etendavad ilmselt kivimite lõhelisus ja lasumustingimused. Teatavasti läbivad Eesti aluspõhja kivimeid kirde—edela- ja loode—kagu-suunalised vertikaalsed tektoonilised lõhed (joon. 114) ja rikkevööndid, mida mööda pinnavesi hõlpsasti maasügavusse tungib. Liikuv vesi kulutab ja lahus-



Joonis 113. Erineva kujuga karstikoopaid (Ulo Heinsalu järgi): I — Kuimetsa suur koobas ristlõikes, II — lida koopa pikilõige, III — tunnel Kostivere karstialal, IV — Lustivere koopa pikilõige; 1 — karbonaatkivimid, 2 — rikkumata lasumusega kvaternaarisetted, 3 — langatus- ja jääksetted, 4 — vesi.

tab ümbritsevaid kivimeid, põhjustades lõhede järkjärgulist laienemist.

Olulist osa karstivormide tekkes etendab ka reljeef. Enamik karstialasid on koondunud kohtadesse, kus vee pindmine äravool on piiratud või kus erosioonibaas naaberpiirkondadega võrreldes madalamal. Viimase näiteks võib tuua Pandivere kõrgustiku, mis on terve Mandri-Eesti keskne veekogumisala. See 1375 km² suurune vooluveteta kõrgustikuala neelab aastas 395 miljonit m³ sademevett ja sealt toituvatest põhjaveekihtidest saab tarbevee 12% vabariigi elanikkonnast ning tervelt viiendik maarahvast. Kõrgustiku nõlvadelt või selle vahetus mõjupiirkonnas asuvatest soostikest saab alguse veerand Eesti jõgedest (joon. 96).

Peale Pandivere kõrgustiku on karstivormide poolest eriti rikkad Jõhvi kõrgendik, Vääna—Kose—Lelle ja Märjamaa vaheline ala ning Lääne-Eesti saarestik.

Vaadeldud karstivormid on valdavas osas tekkinud pärastjääajal, sellele vastavalt, millal üks või teine ala mere alt vabanes. Kuid karstivorme tekkis meil kahtlemata ka kaugemas minevikus. Vanu karstinähtusi on avastatud näiteks põlevkivi tootsates kihitides. Mööda lõhesid ringelnud põhjavesi on põlevkivist orgaanilise ja karbonaatse osa kohati välja kandnud ning jääksavi alles



Joonis 114. Eesti aluspõhja kivimeid läbivad peaaegu kõikjal kirde—edela- ja loode—kagu-suunalised vertikaalsed tektoonilised lõhed ja rikkevööndid, mida mööda pinnavesi hõlpsasti maasügavusse tungib ja karstumist soodustab. Anto Raukase foto.

jätanud. Vana karsti ehk süvakarsti on meil seni tundma õpitud suhteliselt halvasti. Enamiku vanu pindmisi karstivorme hävitas pealetunginud mandrijää.

*Kui tahetakse olla teravmeelne,
siis juhtub, et natukene valetak-
takse.*

Antoine de Saint-Exupéry

Põhjavee uuristusvormid

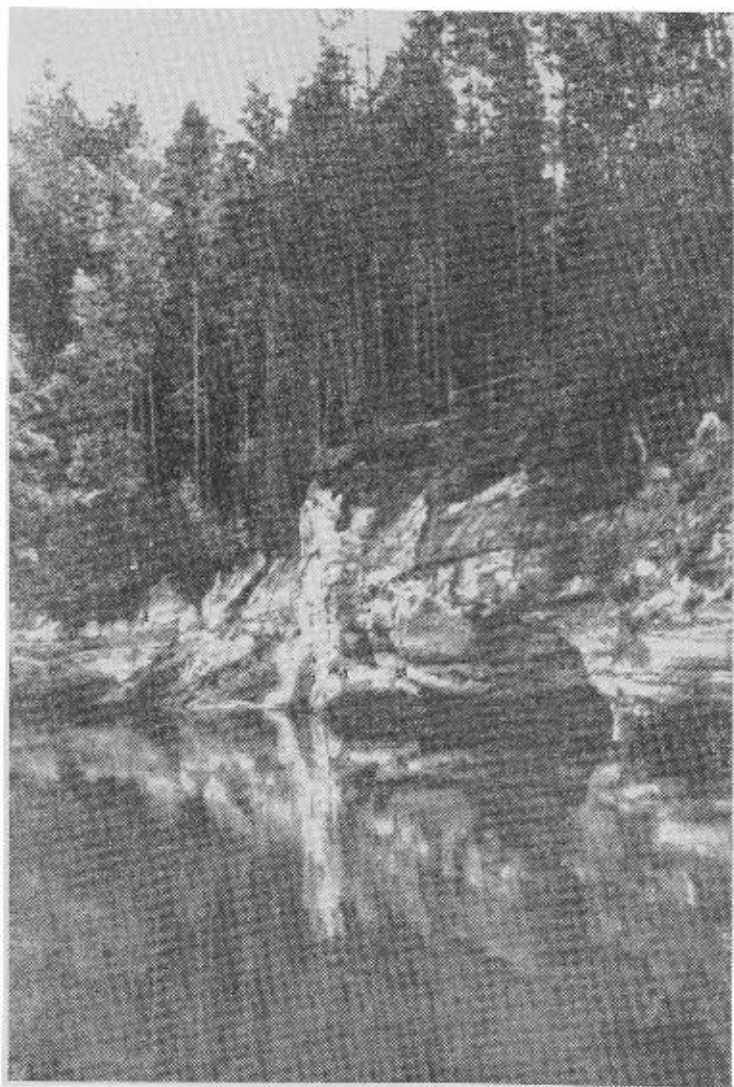
Rahvasuus liigub palju jutte maa-alustest salakäikudest ja kümnete kilomeetrite pikkustest koobastest, mis ulatunud Toompealt Pirita kloostrini või Tartus Toomemäelt Aruküla koobasteni. See kõik on fantaasia vili, sest hiidkoobastike tekkeks polnud Eestis kõrge erosioonibaasi tõttu eeldusi ega võimalusi.

Kobedates liivakivides on meil koopaid paljudes kohtades: Tartu ja Kilingi-Nõmme lähedal, Helmes, Koorkülas, Loodi orus, Piusa ja Pärnu jõe ääres jm. Nende tekke üle on palju vaieldud ja seni võib ainult Piusa koobaste kohta väita, et nad on valdavalt inimtekkelised, seotud klaasiliiva kaevandamisega Järva- kandi tehastele.

Vettpidava kihini jõudnud, hakkab ülalt valgunud pinna- ja sademetevesi liikuma külgsuunas, ikka sinna, kuhu kihid kaldu. Põhjavee liikumisega kaasneb ühtede mineraalide lahustumine ja teiste ümberpaigutumine. Väikese voolukiiruse tõttu saab vesi esialgu ainult pisikesi savi- ja aleuriidiosakesi ning peent liiva kaasa viia, lõhede suurenedes ning vooluhulga kasvades hakkab ta jõud peale ka suurematele purdosakestele. Eriti hoogsaks muutub uuristus kohtades, kus põhjavesi maapinnale jõuab, näiteks jõeorgude (Ahja, Piusa, Võhandu jt.) veerudel (joon. 115) ja künkanõlvadel. Seal kujunevadki uuristuskoopad, mida võõrapärase nimega ka sufosioonilisteks kutsutakse, sest kivimiosakeste ja lahustunud ainete väljauhtumist kivimist liikuva põhjaveega nimetatakse sufosiooniks. Sageli vajuvad koopad sisse (näit. Tori põrgus) ja kujunevad mitmesugused nõguvormid, mida sademeveed omakorda ümber kujundavad.

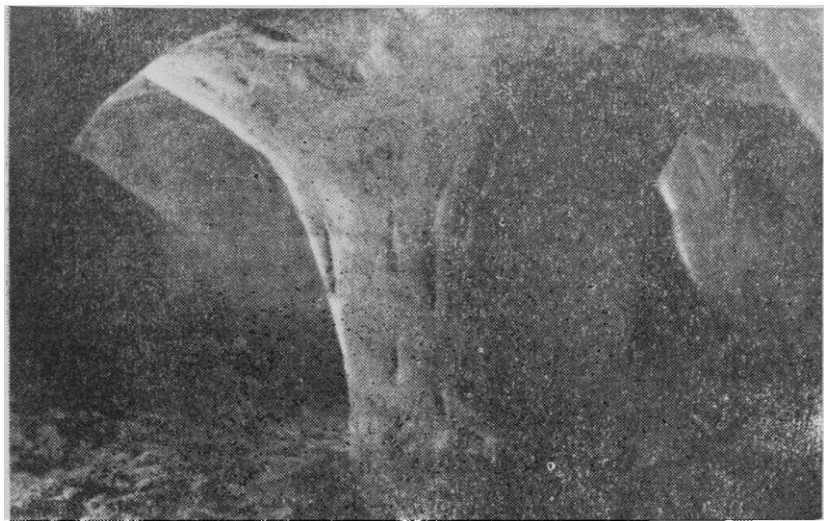
Kõige põhjalikumalt on seni uuritud Aruküla koopaid Tartu lähistel (joon. 116). Prof. A. M. Tallgren arvas koopad olevat muinasaegse päritoluga ja luges need eestlaste vanimate säilinud eluasemete hulka. Ka Fr. R. Kreutzwald pidas neid eeskätt inimtekkelisteks, sõjaaegade varjupaigaks. Jõe lähedus kindlustas seal tema arvates inimestele vee saamise, väljakaevatud liiv kandus aga veega minema, mis segas jäljed.

Koopad on kasutatud ladudena ja liivavõtukohtadena. Omal ajal ajasid Aruküla koopad oma suurusega inimesele hirmu



Joonis 115. Eriti rohkesti on uuristuskoopaid oruveerudel, kus põhjavesi maapinnale jõuab. Anto Raukase foto.

nahka. Sinna ei sõandatud ilma pika nõõrita sisse minna. Koopad ulatusid endisest Meruski ehk Kolli talust kalmistute juurde ning teisele poole maanteed põldude alla. Prof. J. W. Krause poolt möödunud sajandi keskpaiku kirjeldatud suurim koobas sisaldas



Joonis 116. Eesti koobastest tuntuimad on Aruküla koopad Tartu lähedal, kust on maapinnale toodud rohkesti ürgsete rüükalade luid. Helga Kuriku ja Ulo Heinsalu foto.

ligikaudu 1000 sammast ja terve koobastik 5,2 hektaril ligi 15 000 sammast. Nii mõnigi kord kukkus lehm või hobune koos adraga koopalaie varisemisel tekkinud auku. 1958. a. oli sissepääs veel kolme koopasse, 1981. a. oli koopaid ainult kaks, sambaid on 15 000-st järel kõigest 83. Maa-aluse territooriumi pindala on praeguseks kahanenud 0,04 hektarile ja varsti on koopad ise kaunis mälestus, mida jäävad meenutama haruldaste rüükalade luud geoloogiamuuseumis.

Kuid mis on ikkagi liivakoobaste kujunemisel määravam, kas inimtegevus või loodus? Juba meie sajandi kahekümnendail aastail jaotas Gustav Vilbaste koopad kaheksagusteks, looduse looduiks ja inimeste kätetööks. Allikukivi ürgoru nõlvas, 1,5 km Kilingi-Nõmmest ida pool, uue ja vana Pärnu—Viljandi maantee vahel satuti tee ehitamisel ilmselt loodusliku tekke ja arengu- looga koobastele, millest suurima läbimõõt on 6 ja kõrgus 5 m, pindala aga 27 m². Sellele järgneb hulk väiksemaid koopaid. Neist kõiki pole veel jõutud läbi uurida. Õeldu näitab, et põhjavee tugev vool võis kujundada ka Eestis selliseid koopaid, mida inimestel vajaduse korral oli hõlpus laiendada, kas siis eluasemeks, varjupaigaks, laohooneks või lihtsalt puhta sõreda liiva saamiseks.

*Eriti ei saa leppida asjadega, mis
sinust ei olene.*

Arvo Valton

Gravitatsiooniseaduse järgi

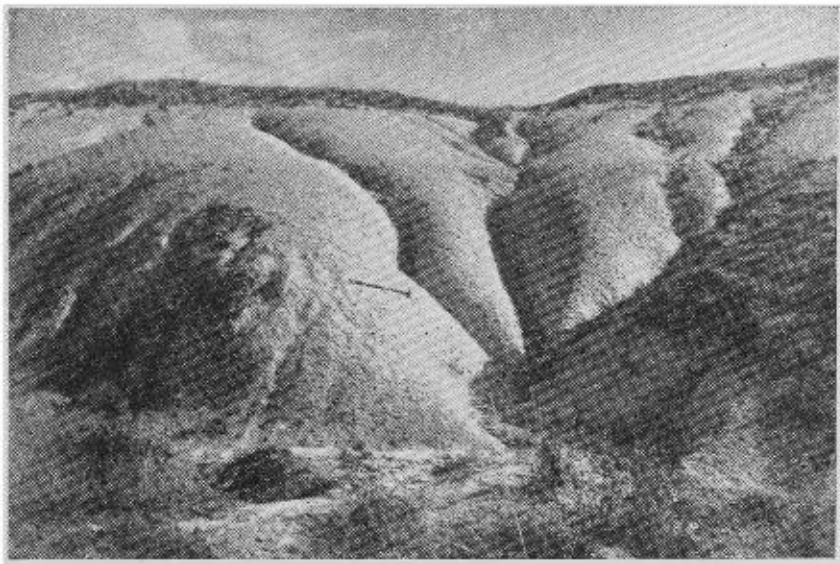
Eestimaa kauneimaks paikadeks peetakse kuppelmaastikke. Kuplite järskudel nõlvadel kasvavad metsasalud, kõrgendike vahel aga helgib rohkesti väikesi järvi. Mõnigi kord satub teele ette järsuveeruline org, mille põhjas puude varjus vuliseb oja või rajab kiirevooluline jõeke endale järvede poole teed. Siinsed «mäed» ei ulatu küll pilvedeni ja nende tippu jõudmiseks ei lähe vaja alpinistiosavust, kuid nagu tõelistes mägedeski alluvad ka siin geoloogilised protsessid üldtuntud ja kiiresti toimivale gravitatsiooniseadusele, mis setteid kõrgemalt madalamale suunab ja maapinda lautasaseks püüab muuta.

Pikaajaliste vaatluste tulemused näitavad, et Eestis on sademeid keskmiselt 610 mm aastas. Uldreeglina saavad kõrgustikud neist märgatavalt rohkem kui tasandikud. Sageli sajab siin suvel tugevaid hoovihmu, mis teevad põldudele ja teedele suurt kahju.

Pikematel järskudel nõlvadel ühinevad selliste vihmade ajal nõlva mööda alla valguvad veenired suuremateks vooludeks, mis uuristavad nõlva ja muudavad selle jooneliseks (joon. 117). Uued vihmaveed kasutavad varem kujunenud uurdeid ja süvendavad neid. Nõlvadesse tekivad sügavad ja lühikesed uhtorud ehk jäärakud (vene keele mõjul ka ovraagideks kutsutud), mille suudmete ette moodustuvad uhtekuhikud. Olgu lisatud, et jäärakud neelavad Nõukogude Liidus iga päev keskmiselt 274 ha viljakat maad, aastas kokku 100 000 ha ning on muutunud ähvardavaks jõuks ka meie koduvabariigis.

Suur on uhtumine kevaditi lume sulamise aegu, millal püdel settemass vahel tervete laamadena allapoole nihkub (joon. 118). Uhtumise intensiivsus sõltub mitte üksnes nõlva kaldest ja korraga voolavast veehulgast, vaid ka pinnase veeläbilaskvusest ja harimisseisundist, mulla lõimisest ja koostisest ning taimkattest. Eriti ohtlik on see sügavalt küntud põldudel ja muudel lahtise materjaliga aladel (joon. 119).

Vihma- ja sulamisveest tingitud pinnase uhtumise tõttu kõrgendike jalamile ja oruveerude alaossa kuhjunud ebaselge kihilisuse ja halva sorteeritusega setteid nimetatakse deluviaalseteks seteteks ehk deluuviumiks. Need on valdavalt liivsavid ja savi-

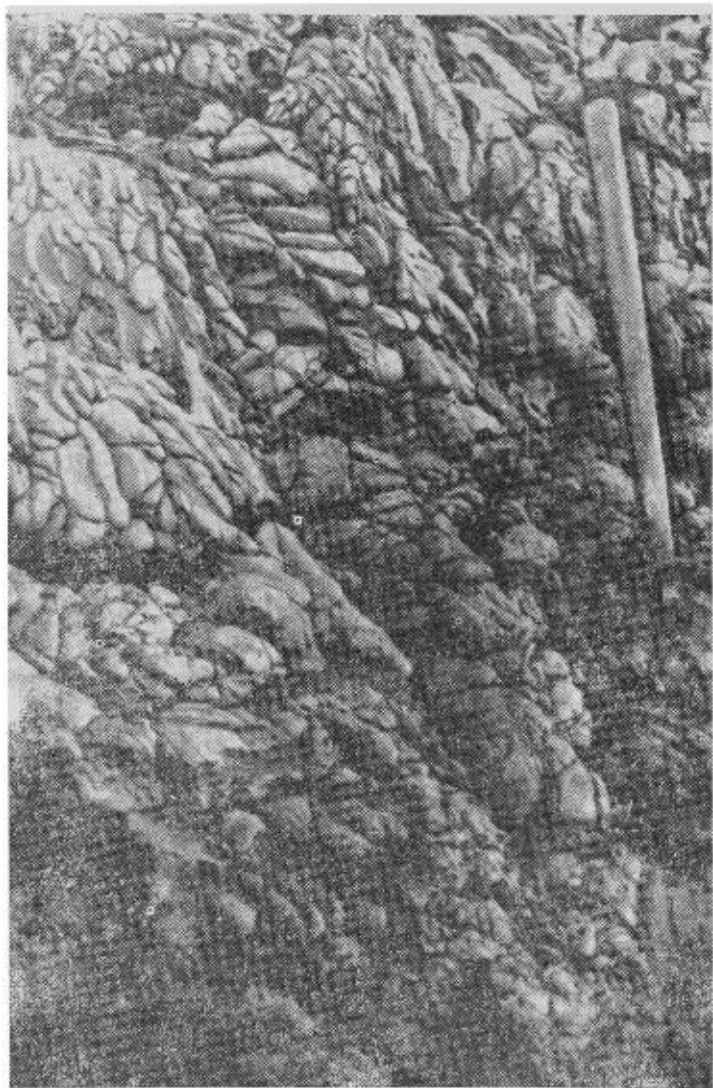


Joonis 117. Pikematel järskudel nõlvadel ühinevad vihma ajal nõlva mööda alla valguvad veenired suuremateks vooludeks, mis uuristavad nõlva ja muudavad selle jooneliseks. Uuristusvaod Jaani lademe merglites. Ago Aaloe foto.

liivad. Tavaliselt on deluuviumi paksus 20—80 cm, üksikjuhtudel tõuseb aga 6—8 meetrini. Deluviaalmullad on viljakad, kuid sageli tugevasti soostunud.

Deluviaalsetete viljakus ei kompenseeri loomulikult seda kahju, mis uhtumine kõrgemal on tekitanud. Erosioonist rikutud mullad moodustavad meil 8,5% põllumaast, Võru rajoonis isegi kuni 32% haritavast maast. Eriti tugevasti on kannatanud kõrgustikualad, kus küngaste järsud nõlvad (enamasti 10—25°, vahel kuni 40°) ja reljeefi suur liigestatus on traktorite põlluletulekuga loonud pinna tõeliseks hävitustööks. Keskmiselt, tugevasti ja väga tugevasti erodeeritud mullad Otepää, Karula ja Haanja kõrgustikul moodustavad 40—70% põllu- ja karjamaast, muudel erosioonialadel (Sakala ja Pandivere kõrgustikul, Vooremaal jm.) ligikaudu 5—10%. Erodeeritud muldade huumusesisaldus (0,5—1,5%) on tunduvalt alla normaalseks taimekasvuks vajaliku kriitilise piiri ja ega seal suurt midagi kasvagi. Igatahes arvestatavat tulu põllumees sealt küll ei saa.

Varem, kui põllutöid tehti hobustega, sai kasutada põldudena maid, mille kalle ulatus 30°-ni. Mõned julgemad mehed tegid



*Joonis 118. Kevaditi lume sulamise aegu nihkub järsematel nõlvadel püdel sette-
mass tervete laemadena allapoole. Anto Raukase foto.*

põllutöid veelgi järsematel nõlvadel. Tänapäeval, kus põllupida-
mine käib mehhaniseeritult, seda enam ei saa. Praegused masinad
ei võimalda järskudelt nõlvadelt teravilja ja heina kadudeta
koristada ja pealegi on see töö liiga ohtlik. Muidu oleksid loo-



Joonis 119. Eriti suur on uhtumine sügavalt küntud põldudel. Sellised võimsad uurded võivad kujuneda juba ühe tugeva vihmavalingu tagajärjel. Nende likvideerimine nõuab aga aastaid. Avo Miideli foto.

duse stalinliku ümberkujundamise perioodil meie kuplialad huumusest hoopis ilma jäänud. Kehtivate eeskirjade kohaselt on keelatud traktorite ja kombainidega töötada alal, mille kallak on suurem kui 9°. Et pinnase viljakust tõsta ja mulla erosiooni tõkestada, ei soovita maaparandajad põllumaana kasutada rohkem kui 6-kraadise kaldega 5 hektarist väiksemaid väljasid.

Alati sellest kinni pidada ei saa, sest näiteks Munamäe sovhoosis on alla 1-ha põlde üle 700 ja mitmete Võru rajooni kuppelala majandite põllu keskmine suurus on tunduvalt alla toodud näitarvu (Munamäe sovhoosil 1,3 ha, Ruusmäe sovhoosil 1,4 ha jm.). Mööndusi tuleb teha ka põldude kallakuse seisukohast, sest kõigil Lõuna-Eesti kõrgustikel on rohkesti põlde, kus kehtivate normide kohaselt traktorite ja kombainidega üldse töötada ei tohiks. Otepää ja Haanja kõrgustiku keskosas esineb selliseid põllumaid orienteeruvalt 20—30% haritavast maast. Seepärast püütakse raskemini haritavaid väljasid kasutada eeskätt heintaimede lasvatamiseks ja lambakasvatuse edendamiseks. Suuremate järsakute puhul on vajalik metsastamine.

Viimase 10 aasta jooksul on kõrgustikualadel edukalt tegeldud reljeefimelioratsiooniga, mille eesmärgiks on kalde ühtlustamine. Selleks tasandatakse kuplitel paiknevad väikelohud ja -kühmud, likvideeritakse terrassid, rajatakse vihmutusveekogusid ja antakse eriti järskudele nõlvadele ohutut maaharimist võimaldav kalle. Künnikihit taastatakse järvemuda kasutamise ja melioratiivse turvastamisega, millega orgaanilise aine sisaldus selles tõstetakse 5—6 protsendini. Säilitatakse metsatukad ja looklevad teed, suuremates tehisejärvedes arendatakse kalakasvatust. Seega ei rikota kuppelalade ilu. Et selline töö on väga kallis, saab seda esialgu teha ainult jõukates majandites ja väikestel aladel.

Veelgi selgemini on gravitatsiooniseadus jälgitav Põhja-Eesti paekalda ja teiste järsakute ees, kus raskusjõu mõjul allavarisenud kivimitest kujunevad rusukuhikud, viimaste liitumisel aga rusukalded. Murenenud järsakult allavarisenud kivimitükid ja rahnud jäävad varisemiskohta tänu sellele, et vooluvett on lühikesel nõlval vähe ja kivimmaterjal liiga suuretükiline. Niisuguse materjali pihustamine ja ärakanne oleks jõukohane tormilainetu-sele, kuid see sinna tavaliselt ei ulatu. Paekalda jalamile kuhjunud mitmesuguse suurusega lapikutest paetükkidest rusukalle on umbes 10—15 m lai ja 6—8 m kõrge. Suuremate lahmakate vahemikke täidavad nende kohapealsel murenemisel tekkinud teravaser-valine murend ja savi. Lubjarohkel ja allikaveest märjal kivi-rusul kasvab lopsakas pangamets, kus lisaks niiskuslembesele leपालe esinevad sellised lehtpuud nagu saar, jalakas, pärn, vaher, künnapuu ja tamm. Puud, lopsakad põõsad ja kõrgekasvulised rohttaimed soodustavad porsumist. Mujal järsakute ees on valda-

vad rabenemisprotsessid, mida kohati toetavad jõeveed (Valgejõe orus) ja murdlained (näit. Osmussaarel ja Mustjala pangal).

Savikivimite, eriti viirsavide levikualal esineb maalihkeid. Kõige sagedamini on neid täheldatud jõgede (Kasari, Pärnu, Vääna, Keila jt.) kallastel, kus on alla libisenud ligikaudu 5 m laiused ja mitmekümne meetri pikkused kaldajärsakud. See toimub tavaliselt kas kevaditi lume sulamise või augustis-septembris suurte vihmade ajal, kui veest raskeks muutunud pinnakihid mööda vettpidavaid libedaid, jõe poole veidi kaldu olevaid savi-kihte liugu lasevad.

Vahel on maalihked nii suured, et koos jõekaldaga kaovad teed, järsakul kasvav mets ja isegi hooned. Mis toimus 17 mail 1962. a. kella 19 paiku Vääna jõe orus Vääna-Jõesuu ja endise Vääna raudteejaama vahel Kännu pere lähedal, sellest kirjutasid «Eesti Looduses» kohaliku metsatöölise Jaan Kännu jutustuse põhjal Harri Treial ja Sulev Künnapuu: «Saagisime tookord «maavärina» kohast 150—200 meetrit eemal puid. Äkki hakkas jõe ääres imelik ragin. Katkestasime saagimise. Et olime üsna jõe ääres, siis nägime — lained liiguvad millegipärast vastuoolu üles. Puud murdusid. Ehmatusest jäime nagu tummaks. Ega täpselt ei teagi, mitu minutit see ragisemine kestis, kuid tundus, et kaks-kolm minutit küll. Kui vaikseks jäi, läksime kohe vaatama, mis möll seal jõe ääres siis õige lahti oli. Kui «maavärina» paika jõudsime, ehmusime nagu uuesti. Jõe põhi oli üles tõusnud ja voolu täiesti kinni pannud. Takistusest allpool vesi aiva alanest, ülalpool aga üha tõusis. Sellel üleskerkinud jõepõhjal sipleksid 10—15 sentimeetri pikkused silmupojad. Neid oli seal üsna palju. Ja nii tõusis vesi peaaegu kaks tundi, enne kui takistused läbi murdis. Siis oli aga alla voolu vesi savist nii valge, nagu oleks sinna piima sisse kallatud.»

Selle vägeva maalihke tagajärjel vajus jõe vasakpoolne kallas ligikaudu 20 m laiuselt ja 100—120 m pikkuselt tervelt 4 m võrra madalamale, jõe põhja keskosa kummus 40—50 m pikkuselt üles ja sulges veevoolu. Kulus mitu tundi, enne kui jõgi endale uue sängi kujundas. Viltuseid puid võib selles paigas näha veel praegugi.

Asjatundjatele ei tulnud seesugused võimalused mõttessegi, sest neil oli küllalt palju teadmisi, et olla kindel säherduste lahenduste teostamatuses.

J. D. Bernal

Tulnukad kosmosest

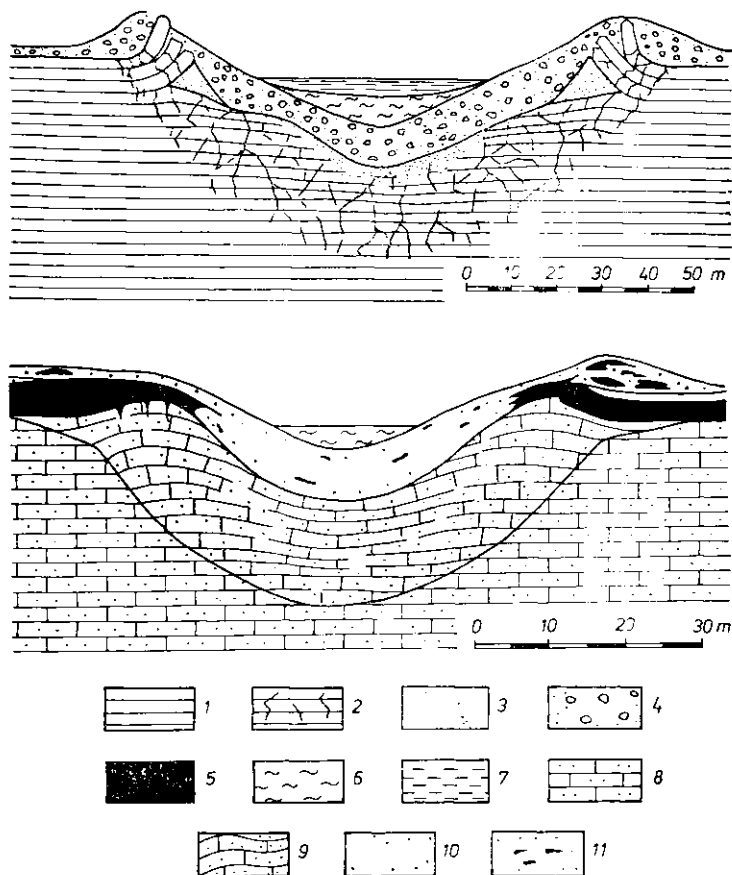
«Et Agramis olevat taevast rauda langenud, seda võisid 1751. a. loodusteaduse ja füüsika taseme tõttu küll uskuda isegi Saksa-maa helgemad pead; ent meie ajal oleks andestamatu selliseid muinasjutte kasvõi tõenäolisekski pidada,» kirjutas 1790. a. tuntud geoloog A. Stütz raamatus «Mäeasjandus». Ja kui aasta hiljem, otsekui teadusemeeste kiusuks, langes Prantsusmaale Barbotani kivimeteoriit ning seda sündmust nägid pealt lisaks lihtrahvale ka linnapea ja hulk linnavalitsuse liikmeid, kirjutas kuulus keemik C. Berthollet sarkastiliselt: «Terve munitsipaliteet on asunud muistendeid kirjutama ja neid tõestisündinud lugudena serveerima.»

Tänapäeval ei ole meteoriitide langemine enam kellelegi uudis, kuigi küsimusele, kust nad tulevad, ei suudeta veel praegugi ammendavat ühemõttelist vastust anda. Sageli seostatakse neid Jupiteri ja Marsi orbiitide vahelise meteoriidivoolu ja pisiplaneetide vööga. Kuid paljude juhtivate teadlaste, näiteks V Vernadski (1863—1945) arvates pärinevad nad hoopis väljast-poolt Päikesesüsteemi.

Taevast ei saja ainult meteoriite. Alla langeb ka palju tehiskliku materjali, näiteks purunenud kosmoselaevade jäänuseid, mida tuntakse pseudometeoriitidena. Viimaste kogud täienevad hoopis kiiremini kui meteoriitide omad. Eesti NSV Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituudi meteoriitide kollektsioon on üks täielikumaid Nõukogude Liidus, esimesed kogusse laekunud eksemplarid pärinevad 1803. aastast, aga selleski eakas kogus leidub «kõigest» 200 erinevat pala.

Teame, et Kuu pind on meteoriidihaavadega tihedalt täkitud. Teda ei ümbritse atmosfäär, seepärast on Kuu kosmosekülaste vastu kaitsetu. Iga müks jätab tema pinnale uue, aastamiljoneid säiliva süvendi. Suuremate kraatrite läbimõõt küünib seal kümnete kilomeetriteni.

Kes meist poleks pilvitul ööl õues jälginud tähtede lendu ja unistanud oma salasoovide täitumisest. Kui hõlpus oleks elus seda-



Joonis 120. Hiidmeteoriitide plahvatusel tekivad Maa pinnale sügavad, valliga piiratud lohkvormid, meteoriidikraatrid. Sellised näevad Ago Aaloe uuringute põhjal välja Kaali (ülal) ja Ilumetsa Põrguhaua kraater (all). 1 — siluri rikkumatu lasumusega dolomiidid, 2 — purustatud ja lõhederohked dolomiidid, 3 — dolomiidijahu, 4 — moreeniga segitambitud dolomiitbretša, 5 — moreen, 6 — turvas ja sapropeel, 7 — vesi, 8 — devoni liivakivi, 9 — purustatud ja segitambitud liivakivi, 10 — liustikujõe liivad, 11 — sama moreeni läätsede ja pesadega.

moodi kaugele jõuda, sest pole ju tarvis kaua oodata, kuni näete taevavõlvile ilmutvat uut heledat punkti, mis käbekähku kustub. «Täht langeb,» öeldakse sel puhul. Ei langenud mingit tähte, vaid Maa atmosfääri tormas oma hukule vastu järjekordne tilluke kosmosekülaline, mis õhu vastusurvest põlema süttis ja 80—

120 km kõrgusel olematuks haihtus. Igal ööpäeval sünnib ja sureb kümneid miljoneid «langevaid tähti».

Kui aga juhukülaline on kogukam, siis käib ta jaks Maa atmosfäärist üle ja ta jõuab meteoriidina maapinnale. Igal aastal langeb Maale üle poolteise tuhande meteoriidi, kuid vähesed satuvad uurijate töölauale. Enamik langeb ookeani või väheasustatud piirkonda, kus nad aegade jooksul murenevad ja hävinevad.

Vaid mõnel korral sajab jooksul kukuvad meie koduplaneedile kümneid, sadu või isegi tuhandeid tonne kaaluvad hiidmeteoriidid, mille langemine lõpeb võimsa plahvatusena. Sellest tekivad Maa pinnale sügavad, valliga piiratud lohkvormid, meteoriidikraatrid (joon. 120).

Eestit on meteoriidid hoolega pommitanud: siin paiknevad ligikaudu pooled NSV Liidus seni kindlalt teada olevatest meteoriidikraatritest ja siit on leitud ka terve hulk meteoriidikilde. Meteoriidileidude järgi ühe ruutkilomeetri kohta peab meiega sammu vaid Belgia ja veidi ees on Tšehhoslovakkia. Vaevalt et meteoriidid meid teistest paikadest rohkem armastaksid, küllap on määravamaks tihe asustus ning rahva teaduselembus ja kultuurihuvi. Ja ka leiuõnne peab olema!

8. augustil 1863. aastal nägid Pilistvere meteoriidisadu rukkilõikajad, kes hiljem mitu suurt musta põlemiskoorikuga kivi maast üles korjasid. Suurima mass oli üle 10 kg. Üks 688-grammine kivi potsatas aga läbi Kurla kõrtsmiku sealauda katuse otse ruigavate loomade vahele.

«Marahwa Näddala-Leht» trükkis teate 4. juulil 1821. a. Kaiavere külasse kukkunud inimpeasuurusest kivimeteoriidist, «mis kui nool suure vurrimisega hommiku poolt õhto pole lendas, viimaks Lokko Kaarli, ühhe Kaiavere metstallomehe välja peale mahhalanges ja hirmsa raksumisega lõhki ja purruks läks». Kahjuks ei jõudnud need veel järgmisel hommikulgi soojad meteoriidipalad kunagi teadlaste kätte.

11. mail (29. aprillil) 1855. a. oli suur kivimeteoriidisadu Kaande rannas Saaremaa loodeosas. Pealtnägijad teavad tunnistada, et suurem osa taevast langenud kividest puhkab praegugi veel Tagalahe põhjas. Meteoriidi langemisega kaasnes kuuel korral vali äikesesarnane müra ja tugev vilin, õhku aga joonistus vette langevate kivide kannul must triip. Seitsmenda mürinaga kaasnes kõva prahvatus, mida pealtnägijad algul ülelendavaks ja seejärel mahalangevaks kahurikuuliks pidasid. Kohalejooksnud Jaan Melow leidis väljastpoolt mustaks põlenud, jalase läbimõõduga kivi, mis maapinda $\frac{3}{4}$ künkra sügavuse ja 1,5-jalase läbimõõduga lohu oli löönud. Kokku leiti sealt 6 meteoriiti, suurima mass oli 3,5 kg.

Kuus päeva hiljem langes meteoriit Igastesse Lõuna-Eestis.

Klaasjat šlakitaolist moodustist ei osanud isegi sellised kuulsad mehed nagu mineraloogiaprofessor C. Grewing ja keemiaprofessor C. Schmidt meteoriidiks pidada, vaid rääkisid leiu maisest päritolust. Leiu rehabiliteeris alles 1960. aastal ameerika teadlane J. A. O'Keefe, kes paigutas pala Kuu pinnalt pärinevate tektiitide hulka. Kuidas Kuul toimunud vulkaanipursete või meteoriidilangemise plahvatuse jäljed Eestimaale võisid kanduda, jäägu edasiste uurimiste selgitada.

28. juunil 1872. aastal langes kivimeteoriit Türi—Paide lähedale Tännassilma külla, ja küllap neid langeb tänapäevalgi, kuid nähtavasti ei oska ruttavad-tõttavad inimesed neid oma igapäevaste toimingute kõrval märgata.

Enamik lugejaid teab Kaali kraatreid Saaremaal, mille meteoriitset päritolu esmakordselt oletas Tallinna kooliõpetaja Julius Kalkun-Kaljuvee, tõestas aga meteoriidikillukeste leidude põhjal 1937 aastal Ivan Reinwald (1878—1941). Tänaसेks on Kaali kraatrite piirkonnast kogutud 2,5 kg kilde (suurim pärast roostekoarikust puhastamist 28,2 g), mis meteoriidikeha oletatava algmassiga (400—10 000 tonni) võrrelduna on muidugi kaduvväike suurus. Suur osa massist hajus meteoriidi põlemise ja järgnenud plahvatuse käigus. Reet Tiirmaa on jälginud meteoriitset hajusainet maapinna ülemises 10 cm paksuses pinnakihis ja tõestanud selle alusel, et meteoriit langes ida—kirde suunast. Kui lugeda hajusaine leviku üldpindalaks 500 km² ja keskmiseks kontsentratsiooniks pinnakihis 50 g/m³, saaksime selle materjali massiks ligikaudu 2500 tonni. Juba see näitab, et Kaali 110-meetrise läbimõõduga järvi ku ümbruskonna 8 pisikraatrit löi hiiglane.

Nagu väidab minu noorpõlve reisikaaslane Lennart Meri oma raamatus «Hõbevalge», kajastub Kaali meteoriidi langemine rahvalauludes ja ka «Kalevala» ühes runos. «Päikese mahalangemine» pidanuks tõesti kajastuma kõigi Läänemere-äärsete rahvaste muinaslugudes. Kui aga silmas pidada Kaali kraatrite vanust, meteoriidi langemise suunda, tolleaegset idapoolsete hõimude asustustihedust ja kultuuritaset, siis on selliste legendide säilimine vägagi küsitav. Hoopis vähepõhjendatud on Kaali meteoriidikraatrite seostamine Läti Henriku kroonikas leiduva märkusega Tarapita lennust Ebavere kandist Saaremaale või siis päikesejumala Heliose poja Phaetoni tulivankris kihutamisega üle Euroopa.

Kui vanad on Kaali kraatrid? Igatahes nooremad kui 6000 aastat, sest kraatrite piirkond vabanes mere alt umbes 60 sajandit tagasi. Kuid igal juhul on nad märksa vanemad saadud radioüsiniiku dateeringuist. Kraatrist 2 leidis Ago Aaloe rusukihist rohkesti puusõe tükke, mis arvati sõestunuks meteoriidi plahvatusel. Sõe vanuseks saadi Tartus Zooloogia ja Botaanika Instituudi

laboratooriumis ligikaudu 2660 aastat. 700 aastat enne meie aja-arvamist oli Saaremaa tõepoolest asustatud ja ei ole kahtlust, et Kaali kraatrite tekkega kaasnenud põlengud ja plahvatused võinuksid vabalt minna rahva mälestustesse. Arheoloog Vello Lõugas läheb veelgi kaugemale ja seostab Asva linnuse põlemise (umbes 650—700 a. e. m. a.) meteoriidi langemisega.

Kuid kraatrite tegelik vanus on tunduvalt suurem. Helgi Keseli kompleksuuringud Kaali järve põhjasetetest kinnitavad, et kraatrid on vähemalt 3500 aastat vanad. Edasiste uuringute käigus võib see vanus pigem suureneda kui väheneda, sest pole kindel, et kätte on saadud järviu kõi ge vanemad setted.

Kaalist vanemad on Tsõõrikmäe ja Ilumetsa kraatrid. Neist esimene asetseb Räpina lähedal ja tema 40-meetrise läbimõõduga madala ringvalliga ümbritsetud 6,5 m sügavune kraater on turbaga täitunud. Kraatri põhjasetete vanus on ligikaudu 9500 aastat.

Ilumetsa kraatrite all on devoni liivakivi mitmekümne meetrini lõhenenud, ringvallid aga koosnevad segipaisatud ainesest (joon. 120). Kolmest senileitud kraatrist, mis kannavad Põrguhaua, Kuradihaua ja Sügavhaua nime, on suurim esimene: läbimõõt 80, sügavus 12,5 m. Kraatrid tekkisid umbes 6000 aastat tagasi.

Vanim teadaolev jääajajärgne meteoriidi langemine toimus aga 10 000—11 000 aastat tagasi otse meie pealinnas. Lasnamäele langenud taevakivi lõi tasasele paepinnale kiirtena hargneva, löögi jäljele iseloomuliku ämblikuvõrgu, mis hiljem mattus soosetete alla. Alles seal alanud hoogne ehitustegevus tõi unikaalse loodusemälestusmärgi päevavalgele. Praegu on objekt taas setete alla maetud, et hoolimatud külastajad talle viga ei teeks. Tahaks loota, et lähitulevikus saab sellest hästi korrasstatud turismiobjekt koos muuseumiga. Lasnamäe uuslinnak ei ole arhitektuurilt ega ka looduse poolest eriti liigitõmbav, sel teel saaksime aga monotoonse elamumassiivi südamikus huvitava vaatamisväärsuse.

Võrreldes Hiiumaal avastatud Kärkla hiidkraatriga on kõik eelkirjeldatud verinoored ja otse liliputid. Kärkla ligi 4-kilomeetrise läbimõõduga ja 0,5-kilomeetrise sügavusega kraater sündis umbes 450 miljonit aastat tagasi. Kujunenud hiiu ujutasid ordo-viitsiumi ja siluri meri üle ja matsid ta aegamööda oma põhjasetetes. Praegu pole kraatrit maapinnal näha, ta piirjooned on kindlaks tehtud rohkem kui 100 puuraugu ja geofüüsikalise mõõdistamisega. Teadjale reedavad kraatrivalli asukoha ainult normaalsest suurema kallakusega lubjakivikihid Paluküla seljakulisel kõvikul. Kui võimas oli pauk ja kui suur kosmiline pomm, seda võime umbkaudselt oletada. Et kuulsa Arizona kraatri (läbimõõt 1207 m, sügavus 180 m) tekitajaks peetakse ligikaudu 63 000-tonnist meteoriiti, siis peame Kärkla astrobleemi (kreeka keeles

«tähehaav») sunnitaja lugema vähemalt 150 000-tonniseks müra-kaks.

Lisaks silmaga nähtavatele meteoriidipaladele, kraatritele ja löögijälgedele satub Maale igal aastal miljoneid tonne maavälist, meteoriitset (meteoriidi plahvatusel pihustunud materjal), meteo-orset (eraldub boliidi või meteoriidi ülessulanud pinnalt) ja kosmi-list (pärineb planeetidevahelisest ruumist) tolmu. Kõige rohkem viimast. Herbert Viidingul on Eesti agu- ja vanaaegkonna seten-dite uurimisel õnnestunud tõestada, et kosmiline tolmu kuhjub eri-neva kiirusega. 20—25 miljoni aastasele mõõdukale perioodile järgneb mõne miljoni aastane rohke kosmilise tolmu kuhjumise periood. Kosmilise tolmu suurem sisaldus iseloomustab näiteks Volhovi, Kukruse, Pirgu ja Paadla lademe lubjakive. Võimalik, et need peegeldavad Maa kokkupõrkeid asteroididega või Maa liikumist galaktilise aasta vältel läbi kosmilise aine erineva tihe-dusega piirkondade.

20. sajandi algusaastail ennustati Maa hukku Halley komeedi läbi. Nüüd on möödunud ka uus Halley komeedi lähiseis ja Maa püsib kindlalt nagu varemgi. Ei ole meteoriidiplahvatused Kuudki harjunud teerajalt kõrvale suunanud. Me pigem ootame meteoriitidega kohtumisi, et saada uut teavet Päikesesüsteemi ja sellest kaugemategi alade ehituse kohta.

On teada vaid üks juhtum, kus taevakivi on tabanud inimest. 30. septembril 1954. aastal tungis 2,5-kilone meteoriit Alabamas läbi majakatuse ning tekitas perenaisele jalavigastuse. 28. aprillil 1827 aastal kriimustas Jaapanis üks imetilluke (0,2 g) meteoriidi-kild väikest tüdrukut ja põletas tema kleiti augu. Ivan Julma aeg-sest kroonikast võib lugeda, et Zamoskvoretšjes saanud meteoriidi läbi hukka kolm kõrvuti sammunud meest. Arvestades meteoriidi langemist nurga all, ei ole see võimalus välistatud, kuigi on üsna vähetõenäoline. 29. septembril 1938. a. lõi Ameerika Uhendriiki-des 1,8-kilogrammiline Benldi kivimeteoriit augu garaaži lakke ja autokatusesse ning kukkus seejärel istmele.

Rohkem on olnud õnnetusi loomadega. Argentiinas tapnud taevakivi kord mõned lambad, Egiptuses koera, Siberis aga sea. 1880. a. sai USA-s meteoriidiga pihta eesel.

Kokkuvõttes on keskmise suurusega meteoriidid inimesele väheohtlikud. Maapinnale langedes on nad niivõrd jahedad, et ei suuda isegi tulekahju tekitada. Hiidmeteoriidi langemisest tekki-vat võimalikku kahju võiks aga ehk vörrelda Iraani—Iraagi sõja ühe tunniga. Oht hukkuda taevakehaga kokkupõrkamisel on kaduvväike, vörreldes Maal endal loodud tuumaarsenalist joh-tuva ohuga.

Inimese jõud seisneb selles, et ta suudab iseenda üle naerda — muidugi kui tal on huumorimeelt. Ent selles peitub ka tema nõrkus, sest seda tuleb tal nii sageli teha.

Charles Darwin

Quo vadis, looduse valitseja?

Kui transformeerida mõttes biosfääri 3,5 miljardi aastane arengulugu ühele ööpäevale, siis vastaks ajalooline aeg umbes $\frac{1}{25}$ sekundile, vähem kui silmapilgule. Kuid nimelt selle näiliselt tühise ajavahemiku jooksul on inimene jõudnud loodusele korvamatuid haavu lüüa. Ligikaudu kümnendik maismaast on jäätmetega reostatud, metsade hävitamine ja põlluharimine on vallandanud ettenägematu erosiooni ja tuiskliivad. Inimtegevuse tõttu vabaneva ja merre kanduva settematerjali kogust hinnatakse praegu 2—10 miljardile tonnile aastas. Maavarade kaevandamisel ammendatakse paari aastakümnega lademed, mille kuhjumiseks on kulunud sadu miljoneid aastaid. Praegu toodetakse aastas umbes 800 miljonit tonni metallimaake, üle 300 miljoni tonni mineraalväetisi ja kulutatakse üle 7 miljardi tonni mineraalkütust. Kogu aasta jooksul kaevandatavate maavarade äravedamiseks läheks vaja rongi, mis ulatuks Maalt Kuuni ja tagasi ning lisaks sellele veel korra ümber mõlema taevakeha.

Viimase 100 aasta jooksul on inimkond ära kasutanud 240 miljardit tonni hapnikku ja õhku paisanud 360 miljardit tonni süsihappegaasi. Otse kohutav on olnud mulla pöördumatu kadu: ajaloolise aja vältel on kasutamiskõlbmatuks muutunud 20 miljonit km^2 põldu, mis ületab kogu praeguse külvipinna. Nuhtluseks on saanud happelihmad, mis on hävitanud Lääne-Euroopas suuri metsamassiive. Kui uskuda statistikat, siis hävib juba praegu üks taimeliik nädalas ja üks kuni kümme loomaliiki päevas. Reaalsesse ohtu on sattunud ligikaudu 25 000 taimeliiki ning üle 1000 liigi ja alamliigi selgroogseid loomi. Aastast aastasse jääb looduse andmetel vähemaks umbes 350 linnuliiki. Kui nii jätkub, siis pole kaugel aeg, millal päevakorda kerkib inimese kui liigi olemasolu küsimus.

Me tituleerime end looduse valitsejaiks, unustades, et valitseda saab vaenlast, mitte aga sõpra. Inimene elab looduses, toitub ja riietub loodusest ja on ise looduse lahutamatu osa. Mõistmata

ja tunnetamata looduslikus tasakaalusüsteemis valitsevaid keerulisi sõltuvusi võime tekitada soovimatuid ja pöördumatuid muutusi.

Religioon ning sellele toetuvad primitiivne bioloogia ja filosoofia õpetasid, et loodus kogu oma mitmekesisuses on loodud inimvajaduste piiramatuks rahuldamiseks. Käibele läksid arusaamad loodusvarade ja toiduvarede ammendamastusest ning ookeanide piiramatust reostustaluvusest. Eriti hoolimatu suhtumine loodusesse sai alguse asumaade hõlvamisega, kus «kultuurrahvaste» esindajad ei pidanudki vajalikuks keskkonnakaitselisi meetmeid rakendada. Kuid mis siin salata, samasugune ühepäeva-peremehe mentaliteet valitses pikka aega ka Nõukogudemaal. Väärettekujutuse inimõhu ohutusest lõi bioloogiateaduses valitsev pseudofilosoofia ja ühiskonnateadlaste voluntaristlik suhtumine loodusesse, mida süvendasid riigi näiliselt piiramatud loodusressursid ja territooriumi avarused.

Mina ja minu põlvkond kasvasime ajal, mil looduselt ei oodatud armuande, vaid võeti kõik mis vaja, midagi talle vastu andmata. Me jäime ilma ökoloogilisest haridusest ning paljud meist pole suutnud seda teadmislünka tasa teha. Kuidas muidu seletada miljonite hektarite sööti jätmist, tundrate segipööramist roomikautodega ja ka meie Kirde-Eesti veekogude reostamist.

Minu esimene kokkupuude geoloogiaga oli L. Saveljevi 1947. a. vene keelest tõlgitud raamat «Jäljed kivil». Tegelikult oli see ameeriklase W Maxwell Reedi raamatu «The Earth for Sam» ebaõnnestunud plagiaat. Sel ajal ei osanud ma veel teri sõkaldest eristada. Minu geoloogiks saamisel oli sel teosel aga küllalt suur mõju. Raamatus kirjutati: «Me asutame linnu, ehitame sildu üle laiade jõgede, puurime nagu nõielaaga mägesid läbi, lõikame nagu habemenoaga mandreid. Võrrelge postmarki ja torni — sellega võrdlete meie minevikku ja tulevikku Maa peal. Kuid sellele tulevikule järgneb muidugi veel uus, raskesti kujutletav tulevik, sest inimesed, nagu me peame oletama, saavad sadade miljonite aastate pärast nii võimsaks, et Maa häving ei osutu veel inimeste hävinguks: nad võivad näiteks teistele planeetidele ümber asuda.»

Tänapäeval on kosmoselennud muutunud üsna tavalisteks, kuid meil on vaid üks koduplaneet ja ta on jäänud meile armsaks. Pealegi pole selge, kas uue eluks sobiva planeedi leidmine ongi nii lihtne, kui seda arvati kõigest 40 aastat tagasi. Pigem peame tegema kõik selleks, et elu meie koduplaneedil muutuks paremaks.

Kuid elu paremaks muutmist peab alustama eelkõige oma koduõuest, oma külast ja linnast, oma koduvabariigist. Kauges minevikus Eesti maa-alal elanud korilane või kütt ei suutnud

loodust oluliselt mõjustada. Teda aheldas ka esiajalooliste uskumustega seotu. Ürginimene austas loodust ja luges seda oma vennaks. Ta ei küttinud ulukeid ega püüdnud kalu rohkem kui eluks vaja. Jahile eelnes kultusetants, millega kütt oma tulevaselt ohvrilt andeks palus.

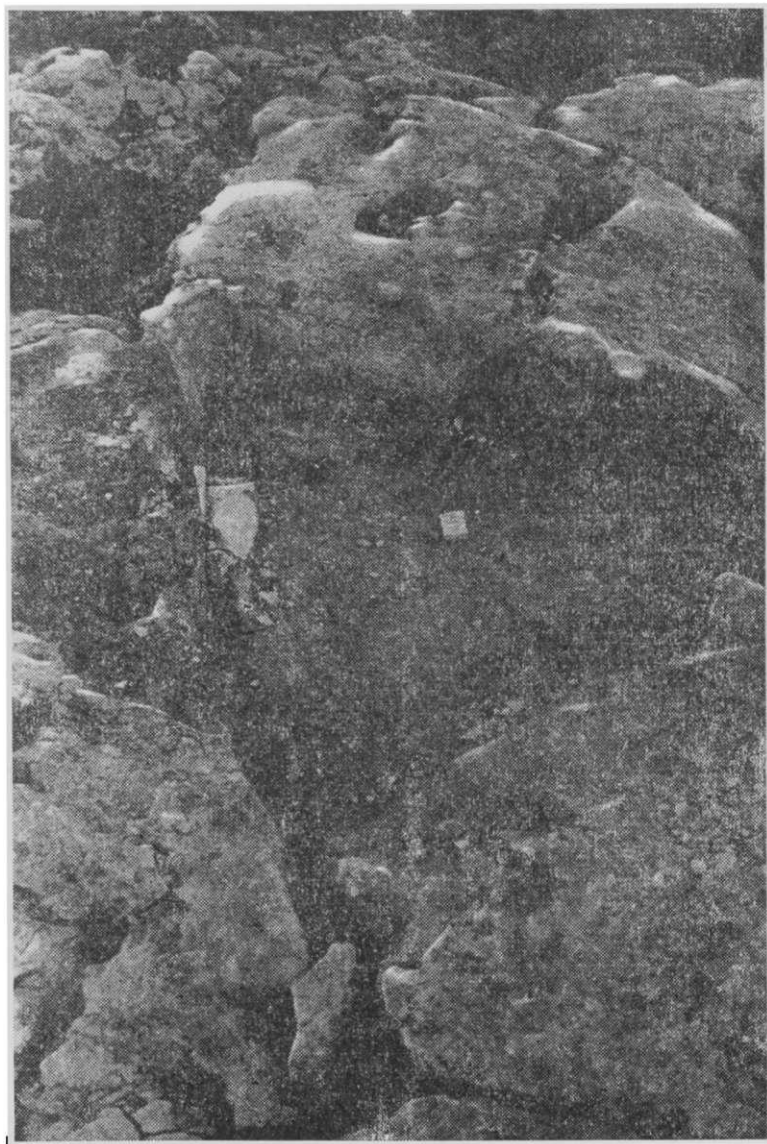
Kui loomariigile on inimene valusaid haavu löönud kogu jääajale järgnenud ajal, siis Eesti taimkate on inimese kätt mõjusamalt tunda saanud alles mõni tuhat aastat. Aga sellestki on piisanud taimkatte näo tunduvaks muutumiseks. Põhjaliku pöörde inimese ja looduse suhetesse tõi põllu- ja karjamajanduse areng (joon. 121). Maaviljelus algas Eestis umbes 2000 a. e. m. a., kui lõuna poolt valgusid siia venekirveste kultuuri hõimud, kelle peamine elatusallikas oli karjakasvatus ja sellega liituv primitiivne maaviljelus. Sel ajal ei tuntud veel niite ega karjamaid ja talviseks lisaöödaks varuti eeskätt puuoksi. Selleaegseid väikesi põllulappe pole kusagil säilinud.

Kindlustatud asulate tekkimine 9.—8. sajandil e. m. a. kõneleb juba arenenud põllumajanduslikust tootmisest ja talvistest varudest, mis naabreid sõjakäikudele meelitasid. Varase rauaaja alguseks (umbes 500 a. e. m. a.) muutus maaviljelus tähtsaimaks elatusallikaks ja ka asustuse levikut määravaks teguriks. Saagi suurendamise taotlus sundis inimesi ekstensiivsele maaharimisele ja üha uute varem kasutamata alade hõlvamisele. Rajatud põllud tuli aga taas maha jätta, sest mullaviljakus neil vähenes kiiresti. Sellele aitasid kaasa tuul ja vooluveed.

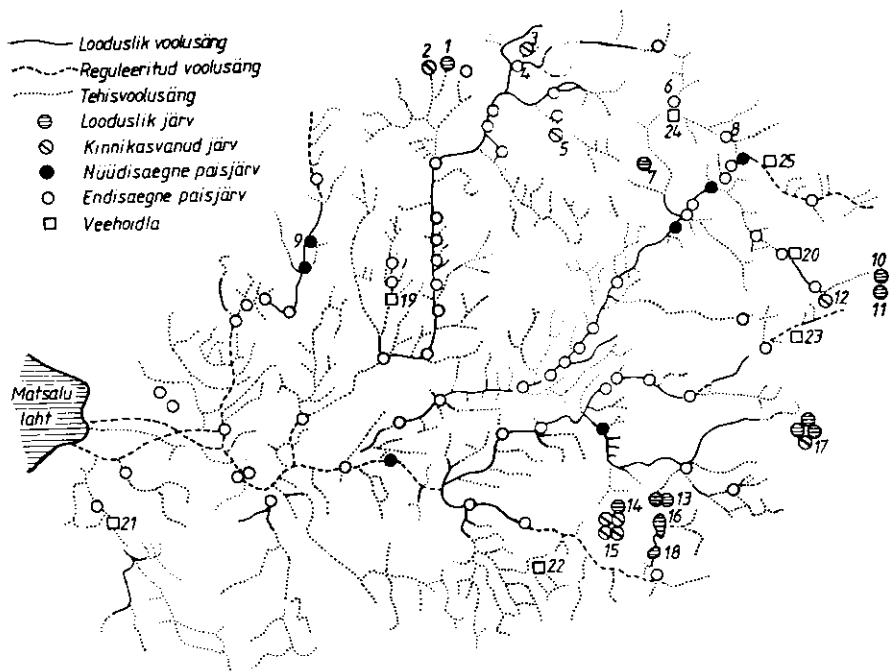
Ürgkogukondliku korra lagunemine esimese aastatuhande teisel poolel viis esmalt külakogukonna tekkimisele, seejärel aga üksikperede eraldumisele kogukonnast ja hajaasustuse kujunemisele. Inimene hakkas üha kasvava visadusega tungima seni veel asustamata ja hõredasti asustatud raskemate muldadega ning veevaestele aladele, nagu näiteks Pandivere laantesse. Inimmõju hakkas avalduma kõikjal.

Esialgsest aleviljelusest on sadade aastate jooksul saanud nüüdisaegne põllundus, kus sügavkünni, kuivenduse, lupjamise ja rohke väetamisega on pinnast tundmatuseeni muudetud. Osa keemilisi ühendeid on sattunud veekogudesse ja intensiivistanud järvede ja jõgede kinnikasvamist. Künklike alade mehhaniseeritud harimine tõi kaasa künnimaade ulatusliku erosiooni, mille tagajärgi me alles nüüd oleme suutelised leevendama.

Järjest vähemaks jäi metsa. Seda kulus ohtralt alemaadel, hiljem aga ehitus-, tarbe- ja küttepudeks, teede täiteks ning tõrva- ja söepõletamiseks. 1887. aastaks oli Eestimaa kubermangu metsasus langenud 19,8 protsendini, Liivimaal 24,4 protsendini. Metsade arutule laastamisele on alles viimastel aastakümnetel piir pandud.

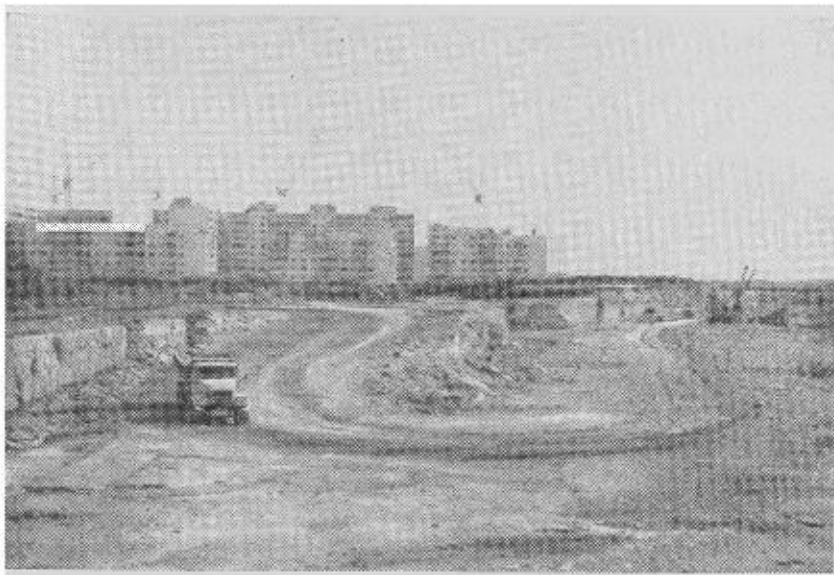


joonis 121. Muistne, arvatavasti 12. sajandist pärinev lõkkease Kõmsis, Haapsalu rajoonis. Siingi suhtus inimene loodusesse suure pieteeditundega. *Anto Raukase foto.*



Joonis 122. Sadu aastaid on inimene vetevõrgu muutmisega jõudu proovinud ja see on tal enda arvates hästi õnnestunud. Näiteks Kasari valgalal on looduslikke voolusänge Luule Veeringu andmetel üsna vähe järele jäänud. Numbritega on märgitud: I — Järved: 1 — Nurme, 2 — Lehetu, 3 — Sepajärv, 4 — Pajaka, 5 — Nõmmeall, 6 — Kodila, 7 — Jalase, 8 — Alu, 9 — Koluvere, 10 — Vanamatsi laugas, 11 — Kõrtsilaugas, 12 — Ooreküla, 13 — Kaisma raba laukad, 14 — Kõrgesoo laugas, 15 — Rogenese raba laukad, 16 — Kaisma Suurjärv, 17 — Nõlvasoo järved, 18 — Kaisma Väikejärv; II — Veehoidlad: 19 — Luiste, 20 — Kehtna, 21 — Tuudi, 22 — Langermaa, 23 — Vastja, 24 — Kodila, 25 — Valtu.

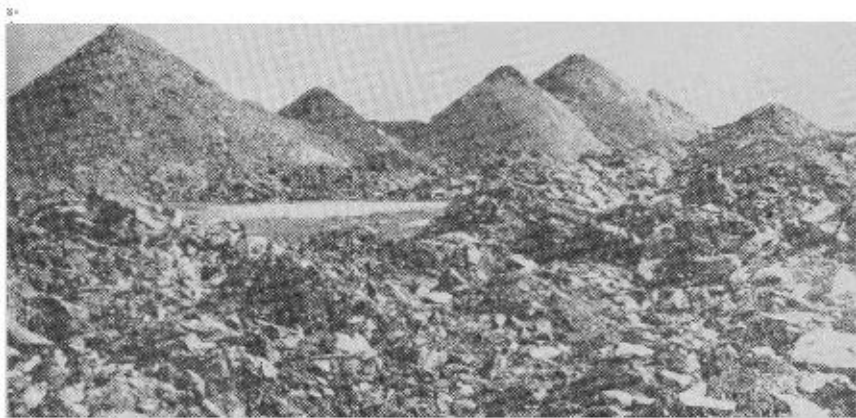
Sadu aastaid on inimene proovinud ka vetevõrku muuta. Praeguseks on enamik väikesi ojasid ja jõgesid maaparandustöödega süvendatud ja õgvendatud. Luule Veeringu andmetel on Loode-Eestis Jõelähtme jõest Salajõeni umbes 80% voolusängidest tehislilikud. Mõnedes jõgikondades (näit. Kasari, vt. joon. 122) on tehissänge isegi üle 90%. Reguleeritud on ka ligikaudu veerandi Eesti järvede veepinda ja rajatud üle 150 veehoidla, mis mahutavad kümneid miljoneid m³ vett ja hõlmavad 1,5% Eesti NSV territooriumist. Kavas on Võrtsjärve veetaseme reguleerimine ja arutamisel veejuhtme rajamine Peipsist Tallinnasse.



Joonis 123. Suurim looduslikku pinnamoodi mõjustav ettevõtmine Tallinnas on Oktoobri tee ehitamine Lasnamäel. *Anto Raukase foto.*

Ka enamik meie linnade looduslikke pinnavorme on teede ja elamuehituse käigus olulisel määral ümber kujundatud või mattunud kultuurikihi alla (joon. 123). Viimane on kujunenud paljude aastasade jooksul ning on seetõttu kohati väga paks. Näiteks Tallinnas bastionide kohal (Linda mägi, Harju mägi jt.) ulatub kultuurikihi paksus 15 meetrini, Toompeal ja Võidu väljakul on see 2—8 m, Rataskaevu ja Suur-Karja tänava rajoonis 2,5—6 m, Viru väljaku ümbruses 2—3,5 m.

Kõige suuremad muutused vabariigi pinnamoes on siiski seotud maavarade kaevandamise ja ümbertöötamisega (joon. 124). Eesti NSV-s kaevandatakse praegu ligikaudu 30 miljonit tonni põlevkivi aastas, millest valdav osa (78%) läheb suurte soojus- elektrijaamade kütteks. Uksnes põlevkivi kaevandamise tulemusena suureneb jääksetetega kaetud karjääride pindala 400—500 ha võrra ja maapinnale lisandub ligikaudu 10 miljonit tonni põlevkivituhka aastas. Ainult väike osa sellest (umbes 3 miljonit tonni) leiab kasutamist ehitusmaterjalide valmistamisel, teedehituses ja happeliste muldade lupjamisel. Juba praegu on põlevkivituhha all 2000 ha suurune ala, mis saandi lõpuks kasvab arvatavasti 3500 hektarini. Alates 1960. aastast on Kohtla-Järve rajoonis karjäärideks eraldatud 24 000 ha (sellest 20 000 ha aluspõhja kivimi-



Joonis 124. Kõige suuremad muutused vabariigi pinnamoes on seotud maavarade kaevandamise ja ümbertöötamisega. Enamasti kujunevad neis piirkondades halvasti korrustatud ja edaspidi raskesti majandatavad alad. Anto Raukase foto.

tesse), kusjuures karjääridega on hõlmatud 4% kogu rajooni territooriumist. Prognoosi kohaselt läheb põlevkivikarjääride alla veel 11 000 ha, šahtide alla aga 16 000 ha. Väljatoodav aheraine kuhjatakse terrikoonideks, mis katavad suuri maa-alasid. Igal aastal teisaldatakse põlevkivikarjäärides 50 miljonit m³ pinnast. Kui öeldule lisada fosforiidi, ehituslubjakivi, liiva ja kruusa, turba ja teiste maavarade kaevandamine ning muu inimtegevus, siis näeme, et tehnogeensed setted katavad tähelepanuväärse osa vabariigi pindalast, ligikaudu 7%. Enamasti on need halvasti korrustatud alad.

Põlevkivituha tehismägedesse heidetud põlevkivipoolkoks sisaldab lahustuvaid sulfiide, kantserogene ja teisi kahjulikke aineid. Veelgi suuremale õhu, vee ja pinnase saastamisele viib diktüoneemaargilliidi isesüttimine fosforiidikarjääride puistangutes. Suured põllu- ja metsamaade kaod tekivad maapinna langatuste tõttu põlevkivikaevanduste kohal. Kokkuvõttes on pilt troostitu (joon. 124).

Soodsama elukeskkonna loomine, mis algas tule kasutuselevõtmisega koopainimese poolt, on tänapäeval jõudnud suurte maa-koort muutvate tegudeni. Tänu tehnika arengule on see võtnud

aukartustäratava ulatuse. Iga päev läheb linnade, tööstuse ja teede alla maailmas 1300 km² iga maakera elaniku kohta paigaldatakse kaevetööde käigus ümber 20 tonni pinnast aastas, maakera veehoidlad mahutavad ligikaudu 5000 km³ vett, mis neljakordselt ületab maakera kõigis jõgedes ringleva veehulga. Seda kõike tehakse näiliselt inimese heaolu nimel. Kuid täiuslikku heaolu pakub see üksnes siis, kui inimeste tehnilised oskused ühilduvad ökoloogilise harituse ja loodusearmastusega. Ainult sel juhul suudame ka meie oma väikeses vabariigis parendada Kirde-Eesti looduseisundit, säilitada puhtana Peipsi veed, päästa väikejärved kiirest eutrofeerumisest, hoida suurfarmide ümbrust ja põhjaveekihte reostumisest. Seni on looduse kasutamisel rohkem lõigatud kui mõõdetud. Praegu on mõlemad operatsioonid vahest tasakaalus, kuid ideaalist — üheksa korda mõõta ja üks kord lõigata — oleme veel üsna kaugel.

*Kui inimene
on arenenud olend
kes põlvneb ahvist —
järglased tähelapsed
mis loomaks siis peavad meid?*

Minni Nurme

*Uha tuleb minna et jõuda taas
millegi juurde kuhu tahaks jääda
ometi teades et ses jäämises on
alati uus minemisvajadus ikka ja aina*

Endel Nirk

Lõpetuseks

Käesolev raamat, mida küll vist väga vähesed kärsivad kaanest kaaneni läbi lugeda, ei olegi mõeldud lõbusaks juturaamatuks. Pigem on ta teatmeteos, millest lugeja saab ülevaate kvaternaarigeoloogide ja loodusgeograafide tööväljast, ammutab teavet Eesti maastike arengust kaugetest jääajaeelsetest aegadest kuni tänapäevani, ajani, mil looduskeskkond muutub uute, inimese tahetele allutatud seduspärasuste järgi.

Eestis puuduvad lumega pärjatud mäetipud, kobrutavad mägi-jõed ja sügavad lõhangud, kust alla vaadates hing jääb kinni. Järved on madalad ja jõedki enamasti nii kitsukesed, et koolipoiss jõuab kivi vaevata teisele kaldale visata. Sellegipoolest armastame oma sünnimaa loodust, armastame teda ta põhjamaises karguses ja tagasihoidlikkuses. Kuid sügavalt armastada saab loodust nagu inimestki üksnes siis, kui teda hästi tuntakse, teatakse nii tema tugevaid kui ka nõrku külgi, talle ainuomast ning teistega ühist.

Paljud selles raamatus esitatust on vaieldav ja mitmed seisukohad võivad uute uuringute valguses oluliselt muutuda. Nii see peabki olema. Mööduvad uued aastakümned, kuid geoloogi elukutse oma rohkete avastamisrõõmudega paneb kahtlemata ka tulevikus põksuma loodushuviliste noorukite südameid. Kes meist ei tahaks olla esmaavastaja, asustamata piirkondade kaardistaja, ürgse looduse keerukate seaduste tunnetaja? Kas jätkub selleks Eestimaal võimalusi? Kahtlemata jätkub! Peaaegu uurimata on Eesti rannikumeri ja üpris vähe teame Eestimaa mattunud pinnavormidest. Juba praegu kaevandatakse mõnedes maades maaake 500—800 m sügavusest, nafta tootmiseks rajatakse aga 5—6 km sügavusi puurauke. Peagi hakkavad ka Eesti geoloogid uurima maapõue selliseid sügavusi ja küllap jõuavad järgnevad põlvkonnad veelgi sügavamale. Liikuda mööda tasast maad kümme kilomeetrit on jõukohane koolieelikulegi. Kuid kas te olete mõelnud, missuguseid raskusi peavad geoloogid ületama, et tungida sellisesse, Maa läbimööduga võrrelduna tühisesse sügavusse?

Kahtlemata suureneb tulevikus hüdrogeoloogia osatähtsus. Joogi- ja tehnilise vee vajadus kasvab nii kiiresti, et veega varus-

tamine muutub juba lähitulevikus väga keeruliseks probleemiks. Et rahuldada veevajadust, ei piisa tõenäoliselt olemasoleva põhja- ja pinnavee kasutamisest, vaid ellu tuleb rakendada terve abinõude kompleks, sealhulgas veevarustusallikate kaitsmine reostumise eest ja veehoidlate võrgu loomine tulva- ja sulamisvee kogumiseks. Saartel tuleb arvatavasti kasutusele võtta ka merevee magestamine.

Tõuseb vajadus ehitusgeoloogide järele. Juba praegu võiks ehitada palju odavamalt ja paremini, kui me rohkem tunneksime pinnasemehaanikat ja erinevate settetüüpide käitumist erineva veerežiimi juures.

Teaduse ja tehnika progress on ellu kutsunud uue intensiivselt areneva tootmisharu, mineraaltoorme sünteesi. Sünteesitakse neid maapõuevarasid, mille ressursid on looduses piiratud või kaevandamine raskem ja kallim kui kristallide kasvatamine või etteantud omadustega materjali loomine tehastes.

Järjest rohkem hakkavad inimesed merepõhjast maavarasid kaevandama. Läänemeres on teada naftaleiukohti, Soome lahes on leitud paiguti tootmisväärsel hulgal raua ja mangaani konkretsioone. Välistatud pole maagimaardlad. Tulevikus uuritakse merepõhi geoloogiliselt läbi nagu maismaagi ja paljusid loodustavarasid hakatakse hankima mitte ainult ookeani šelfialalt, vaid ka sügavamalt merepõhjast. Efektivseks teejuhiks on geoloogidele sealjuures geofüüsikalised meetodid.

Eestimaa on väike ja erinevate loodusteaduste esindajate kontaktid tihedamad kui mujal. See loob võimalusi teadlaste ühistööks ja avastusteks teaduste piirialadel — geofüüsikas, geokeemias, paleogeograafias, paleometeoritiikas jm. Ühtlasi avanevad võimalused looduse ratsionaalse kasutamise ja keskkonnakaitse teaduslike aluste väljatöötamiseks, mis saab olla edukas vaid mitmesuguste eriteadlaste laialdasel osavõtul. Üks positiivseid kogemusi selles valdkonnas on Kirde-Eesti komplekssihtprogrammi raames tehtav uurimistöö.

Avardub koostöö ühiskonnateadlastega. Vähe on kasu, kui uurime muistiseid lahus loodusest. Kui tunneme antud paiga muinasmaastikku ja kliimat, muutub iga kivikalme, asulakoht, linnamägi ja ohvrikivi palju kõnekamaks ning annab märksa rohkem teavet meie esivanemate ainelise ja vaimse kultuuri ning elatusviiside kohta. Mida paremini me suudame korraldada ühisekspeditsioone arheoloogide, etnograafide, mullateadlaste ja teiste teaduslade esindajatega, seda avaramad on võimalused Eestimaa kaugema mineviku ja loodustavarade tundmaõppimiseks.

Sisukord

Saateks	3
Enne jääaega	6
Kust alustada?	22
Mida jagada ja kuidas jagada?	25
Rahutu maapind	31
Üks paljude vastu	35
Liustike võimuses	42
Aga äkki teda polnudki?	48
Jäise hinguse mõjul	52
Mitme tundmatuga võrrand	57
Isotoobid mõõdavad aega	63
Viimane jääaeg ja liustike taandumine	68
Liustiku pärandus	86
Jää kulutusvormid	96
Nüüd kõneleme mandrijää kuhjevormidest	104
Jäiste kallastega järved	111
Liustikujõgede looming	120
Kas on oodata uut jääaega?	130
Pärast jäävangistuse lõppemist	137
Eestimaa esiasustus	142
Pärastjääaja metsades	149
Läänemere eelkäijad	156
Merest sündinud	159
Jooni Eesti nüüdisranna geoloogiast	170
Rannavormide tekkeloost	178
Tormide rüsida, lainete sasida	184
Võõrad väed võõral tallermaal	186
Luited, tuule mängukannid	190
Tuulest viidud	199
Helisevad liivad	201
Tuhande järve maa	203
Eesti suurjärvede arenguloost	211
Ei hõbedat, kulda	214
Soodest ja nende kujunemisest	217
Turbast ja selle kasutusosaladest	224
Virvatulede kammitsais	229
Rauaotsijate rajad	231
Eesti jõgedest	234
Vahutavad veevood	244
Salajõed ja karst	249
Põhjavee uuristusvormid	255
Gravitatsiooniseaduse järgi	258
Tulnukad kosmosest	264
Quo vadis, looduse valitseja?	270
Lõpetuseks	278

Научно-популярное издание.

Анто Раукас. Последние миллионы лет территории Эстонии. Художник-оформитель А. Сяде. Таллин, «Валгус». На эстонском языке.

Toimetaja H. Ernesaks ja M. Rohtmets. Kunstiline toimetaja H. Puzanov. Tehniline toimetaja M. Suursalu. Korrektor S. Hiie.

ИБ № 5572.

Laduda antud 30. 12. 87. Trükkida antud 02. 09. 88. MB-07048. Formaati 60×84/16. Raamatu- ja ajakirja paber. Kiri Baltika. Kõrgtrükk. Tingtrükipoognaid 16,28. Tingvärvitõmmiseid 16,76. Arvestuspoognaid 17,19. Trükiarv 15 000. Tellimuse nr. 19. Hind 95 kop. Kirjastus «Valgus», 200090 Tallinn, Pärnu mnt. 10. Trükikoda «Uhiselu», Tallinn, 200001, Pikk 40/42.